

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Tesis:

“Diseño de un tanque subterráneo de
6000 galones de plástico reforzado con fibra
de vidrio para almacenamiento de
hidrocarburos líquidos”

Italo Gustavo Mendoza Prieto

Para Obtener el título profesional de Ingeniero
Mecánico

Asesor: Mg. Rengifo Abanto, Guillermo
Alejandro

Lima – Perú

2020

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre, por el apoyo incondicional a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ingeniero Guillermo Alejandro Rengifo

Abanto, por su valioso asesoramiento.

RESUMEN

En la presente tesis se diseña un tanque subterráneo de 6 000 galones de plástico reforzado con fibra de vidrio, para almacenamiento de hidrocarburos líquidos en las estaciones de servicio a nivel nacional. El tanque será diseñado de un material alternativo al acero al carbón con la finalidad de mejorar su resistencia mecánica y química, y hacer frente a las condiciones en las cuales estos equipos operan.

Este diseño será construido bajo solución analítica haciendo uso de estándares internacionales de diseño, fabricación e instalación y asimismo bajo el cumplimiento de las normativas nacionales.

En el primer capítulo se desarrollarán los aspectos generales, como son los antecedentes relacionados al diseño de tanques subterráneos, el planteamiento del problema, los objetivos, delimitación y justificación del proyecto.

En el segundo capítulo se desarrollará el marco teórico en el cual se analizan las teorías que alimentan el diseño como son: materiales de construcción, cálculo de los espesores,

selección de resina, criterios de diseño, normas y estándares aplicables, además de una serie de fundamentos que contribuyen a la solución de este estudio.

En el tercer capítulo se elabora el marco metodológico, en donde se establecen las variables y se desarrolla el tipo, diseño y método de investigación.

En el cuarto capítulo se desarrolla el diseño del tanque, donde se establecen las consideraciones de diseño y las especificaciones técnicas que debe respetar el tanque subterráneo, seguido se definen las cargas de diseño que se deben considerar para calcular por formulas las partes que conforman el tanque. Asimismo, se realiza la selección de las fibras que conformarán la estructura del tanque y las resinas que servirán de barrera química para almacenar el agente corrosivo.

En el quinto capítulo se hace uso de las herramientas CAD-CAE para modelar el equipo con sus dimensiones finales y luego verificar por software de elementos finitos las soluciones analíticas abordadas en el cuarto capítulo.

En el sexto capítulo se hablará de la evaluación económica dentro de la cual se preparará un cuadro comparativo de costo de diseño y fabricación frente a tanques fabricados con materiales tradicionales.

Finalmente se concluye que en la presente tesis se logró diseñar un tanque subterráneo de 6000 galones en FRP para almacenamiento de hidrocarburos líquidos bajo el uso de normas de diseño internacionales, y en cumplimiento de las normativas nacionales. Asimismo, se verificaron los resultados obtenidos por solución analítica con software de elementos finitos. Por último, se especificaron las dimensiones, espesores y planos para su construcción.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO 1	1
ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema	3
1.2.1 Problema general	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación	4
1.5 Delimitación	5
CAPÍTULO 2.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.1 A nivel nacional	6
2.1.2 A nivel internacional.....	9
2.2 Bases teóricas	12
2.2.1 Tanques de almacenamiento de combustibles líquidos	12
2.2.2 Tanques subterráneos	13
2.2.3 Tipos de tanques subterráneos	13
2.2.4 Establecimiento de venta de combustibles líquidos.....	14
2.2.5 Materiales de construcción.....	15
2.2.6 Normas y estándares aplicables	16
2.2.7 Características del plástico reforzado con fibra de vidrio.....	20
2.2.8 Propiedades físicas del plástico reforzado con fibra de vidrio	25
2.2.9 Sistemas de Fabricación	28
2.2.10 Diseño del tanque	32
2.2.11 Instalación de tanques subterráneos.....	54

2.2.12	Impacto Ambiental	60
2.2.13	Software para análisis por elementos finitos	61
CAPÍTULO 3.....		66
MARCO METODOLÓGICO		66
3.1.	Variables	66
3.1.1.	Definición operacional de la variable	66
3.2.	Metodología.....	67
3.2.1.	Tipo de investigación	67
3.2.2.	Método de investigación	67
3.2.3.	Nivel de investigación	68
3.2.4.	Diseño de investigación	68
CAPÍTULO 4.....		69
METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN.....		69
4.1.	Consideraciones de diseño.....	69
4.2.	Especificaciones técnicas del tanque	69
4.3.	Cargas de diseño	69
4.3.1.	Cálculo de la carga muerta	70
4.3.2.	Cálculo de la carga viva	71
4.3.3.	Cálculo de las Cargas externas.....	72
4.3.4.	Cálculo de la Densidad del laminado	73
4.4.	Cálculo de la presión interna	74
4.4.1.	Cálculo de espesor de pared cilíndrica.....	75
4.4.2.	Cálculo de la tapa toriesferica	76
4.5.	Diseño por presión externa.....	77
4.5.1.	Cálculo de espesor de pared cilíndrica.....	77
4.5.2.	Cálculo de los anillos de refuerzo.....	78
4.5.3.	Cálculo de la tapa toriesferica	83
4.6.	Determinación de la soldaduras de unión de las partes del tanque	83
4.7.	Diseño de boquillas en las paredes del tanque.....	84
4.8.	Selección de la resina y barrera química	85
4.9.	Determinación de los impactos ambientales.....	87
CAPÍTULO 5.....		89
SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS		89
5.1.	Simulación del tanque subterráneo.....	89
5.2.	Secuencia de laminado	89

5.3.	Modelo FEM	90
5.3.1.	Modelo CAD.....	90
5.3.2.	Condiciones de contorno.....	91
5.3.3.	Tipo de malla	93
5.3.4.	Resumen de las propiedades físicas y mecánicas laminados	94
5.4.	Cargas aplicadas.....	95
5.5.	Simulación de resultados.....	95
5.5.1.	Caso A: Peso del equipo + Presión de prueba	95
5.5.2.	Caso B: Peso del equipo + Presión externa (vacío)	98
CAPÍTULO 6.....		101
EVALUACIÓN ECONÓMICA.....		101
6.1.	Metrado de estanque	101
6.2.	Análisis de costos directos.....	102
6.3.	Análisis de costos indirectos	102
6.4.	Costo total del tanque subterráneo	104
6.5.	Comparación de tanque en FRP con otros materiales	104
6.6.	Transporte e instalación.....	106
CONCLUSIONES		107
RECOMENDACIONES.....		109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		110
ANEXOS.....		114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Factores de seguridad para ASME RTP-1	18
Tabla 2: Propiedades Eléctricas del FRP	27
Tabla 3: Tipos de suelo para relleno	35
Tabla 4: Composición de laminado estándar tipo II	37
Tabla 5: Valores mínimos para laminados planos	38
Tabla 6: Dimensiones de boquilla bridada para pernos clase 150	51
Tabla 7: Selección de combustibles para el almacenamiento	54
Tabla 8: Definición operacional.....	67
Tabla 9: Condiciones y parámetros de diseño	70
Tabla 10: Fracción de volumen de vidrio y densidad.....	73
Tabla 11: Factor de seguridad según criterio de diseño ASME RTP1.....	74
Tabla 12: Configuración de vendaje de unión de cilindro con tapas.....	84
Tabla 13: Dimensiones de boquilla bridadas ASME B16.5	85
Tabla 14: Selección de combustible de gasolina	86
Tabla 15: Selección de combustible de Biodiesel	86
Tabla 16: Secuencia de laminado de tanque	90
Tabla 17: Propiedades de laminado.....	95
Tabla 18: Resultado de esfuerzo normal máximo bajo presión interna	96
Tabla 19: Resultado de desplazamiento bajo presión interna	96
Tabla 20: Resultado de esfuerzo principal bajo presión interna	97
Tabla 21: Resultado de pandeo bajo presión interna en cilindro	98
Tabla 22: Resultado de pandeo en tapa toriesferica bajo presión externa	99
Tabla 23: Metrado de tanque subterráneo	102
Tabla 24: Costos directos	102
Tabla 25: Costos indirectos.....	103
Tabla 26: Costo total del equipo	104

Tabla 27: Comparación del FRP con otros materiales	105
Tabla 28: Comparación de un tanque en FRP frente a uno de ACERO.	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Histograma de denuncias ambientales registradas en el Perú por filtración y contaminación de hidrocarburos en las estaciones de servicio	2
Figura 2. Histograma del número de tanques usados según su capacidad en estaciones de servicio en la provincia de lima	4
Figura 3. Tanques para almacenamiento de combustible	13
Figura 4. Funcionamiento de cámara intersticial en tanques doble pared	14
Figura 5. Distribución de una estación de servicio	15
Figura 6. Roving continuo	22
Figura 7. Roving tejido	23
Figura 8. Mat de refuerzo	23
Figura 9. Velo de superficie	23
Figura 10. Secuencia típica para laminados en plástico reforzado con fibra de vidrio	29
Figura 11. Laminado manual - Hand lay up	30
Figura 12. Laminado por Filament Winding	31
Figura 12. Representación de la Magnitud de la carga en la rueda del camión	33
Figura 13. Distribución de la carga viva a través del relleno	33
Figura 15. Colapso por compresión circunferencial	41
Figura 16. Momento de inercia para anillo de refuerzo media caña	43
Figura 17. Tapas toriesfericas sujetas a cargas internas	50
Figura 18. Configuración de tanque subterráneo en FRP	50
Figura 19. Bridas de cara plana	51
Figura 20. Refuerzo de boquillas	52
Figura 21. Tamaño de grava y roca triturada	55
Figura 22. Tela de filtro geotextil	56
Figura 23. Profundidad de entierro y cubierta	57
Figura 24. Profundidad mínima de enterramiento sin carga de trafico	58

Figura 25. Profundidad mínima de enterramiento con carga de tráfico	59
Figura 26. Métodos de anclaje mecánico	60
Figura 27. Discretización de geometría	63
Figura 28. Familia de elementos comunes	64
Figura 29. Detalle de vendaje de unión.....	84
Figura 30. Composición y detalles de tanque subterráneo.....	90
Figura 31. Modelo CAD de Tanque subterráneo	91
Figura 32. Condificiones de borde en cilindro	92
Figura 33. Condiciones de borde en tapa toriesferica	92
Figura 34. Restricción de simetría para el estanque	93
Figura 35. Malla de vaciado para análisis estático	93
Figura 36. Malla de vaciado para evaluación por pandeo	94
Figura 37. Malla de vaciado para evaluación por pandeo	94
Figura 38. Esfuerzo normal máximo bajo presión interna	96
Figura 39. Desplazamiento bajo presión interna	97
Figura 40. Esfuerzo principal bajo presión interna	98
Figura 41. Pandeo en cilindro bajo presión externa	99
Figura 42. Pandeo en tapa toriesferica bajo presión externa	100
Figura 42. Comparación de tanques en FRP con otros materiales	105

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Plano de arreglo general de tanque	115
Anexo 2. Plano de detalle de tanque	116
Anexo 3. Registro de hidrocarburos en la estaciones de servicio en las provincia de Lima	117
Anexo 4. Tabla de propiedades mecánicas ASME RTP1-2015	123
Anexo 5. Composición de laminado estándar tipo II ASME RTP1-2015	124
Anexo 6. Introducción diseño de tuberías enterradas AWWA M45	125
Anexo 7. Introducción estándar de seguridad UL 1316.....	126
Anexo 8. Ficha técnica resina AOC F774	127
Anexo 9. Cotización tanques enterrados en acero.....	129
Anexo 10. Cotización de materias primas	131

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo	Unidad	Definición
A	cm ²	Área de sección de pared de tanque
A _b	cm ²	Área de acumulación de las capas de fibra de vidrio para el anillo de refuerzo
A _r	cm ²	Área de la media caña
A _t	cm ²	Área total
BBL	cm	Capa límite de flexión del anillo de refuerzo
CAD	-	Diseño asistido por computador
CG	cm	Centro de gravedad
D	cm	Diámetro interior
D _a	kg*m ³	Rigidez a la flexión axial del tanque
D _h	kg*m ³	Rigidez a la flexión circunferencial del tanque
D _k	kg/m ³	Densidad de una lámina compuesta
D _o	cm	Diámetro exterior
D _T	kg/m ³	Densidad total del laminado
E	kg-f/cm ²	Módulo circunferencial de la pared del tanque
E _{af}	kg-f/cm ²	Módulo de flexión axial
E _h	kg-f/cm ²	Módulo circunferencial efectivo de la pared del tanque y anillo de refuerzo
E _{hf}	kg-f/cm ²	Módulo de flexión circunferencial
E _s	kg-f/cm ²	Módulo circunferencial del anillo de refuerzo
FS	-	Factor de seguridad
FEA	-	Análisis por elementos finitos
FEM	-	Análisis por elementos finitos
FRP	-	Plástico reforzado con fibra de vidrio
h _{int}	m	Profundidad a la que las ruedas interactúan con el tanque
H	m	Profundidad de enterramiento
H _{hid}	m	Profundidad máxima del liquido
I _f	-	Factor de impacto
I _s	cm ⁴	Momento de inercia
K _{bid}	kg/m ²	Densidad superficial de fibra bidireccional
KD	-	Factor de caída
K _{mat}	Kg/m ²	Densidad superficial de fibra mat

LLDF	-	Factor que afecta la distribución de la carga viva respecto a la del tanque
L	cm	Longitud entre anillos de refuerzo
L_1	m	Distancia paralela a la dirección del viaje
L_2	m	Distancia perpendicular a la dirección del viaje
M	-	Fibra mat de 450 g/m ²
M_p	-	Factor de presencia múltiple
P	kg	Magnitud de la carga en la rueda del camión más pesado
P_a	kg-f/cm ²	Presión externa admisible
P_i	kg-f/cm ²	Presión interna
P_h	kg-f/cm ²	Presión hidrostática
P_v	kg-f/cm ²	Presión de vacío
R	cm	Radio interior
R_c	cm	Radio de la corona de la tapa toriesferica
R_o	cm	Radio exterior
S_a	kg-f/cm ²	Resistencia ultima a la tensión axial
S_h	kg-f/cm ²	Resistencia ultima a la tensión circunferencial
S_u	kg-f/cm ²	Resistencia ultima a la tensión
t	cm	Espesor de pared
t_a	cm	Espeso de pared para esfuerzo axial
t_h	cm	Espeso de pared para esfuerzo circunferencial
t_{bid}	m	Espeso de una capa de fibra bidireccional
t_l	m	Longitud de la huella de la rueda
t_{mat}	m	Espesor de una capa de fibra mat
t_s	cm	Espesor asumido de anillo
t_w	m	Ancho de proyección de las ruedas
T	-	Fibra bidireccional de 800 g/m ²
V	-	Velo de superficie de 30 g/m ²
V_k	-	Fracción de volumen en fibra
W_{es}	Cm	Ancho efectivo de la pared del tanque
W_c	kg-f/cm ²	Carga vertical del suelo
W_L	kg-f/cm ²	Carga viva en el tanque
v_{ah}	-	Relación de poisson en flexión para la dirección axial
v_{ha}	-	Relación de poisson en flexión para la dirección circunferencial
γ	-	Factor de reducción
γ_s	kg/m ³	Peso específico del suelo

ρ	kg/m ³	Densidad de diseño
ρ_f	kg/m ³	Densidad de la fibra
ρ_m	kg/m ³	Densidad de la resina

INTRODUCCIÓN

Los tanques subterráneos se utilizan en muchos sectores de la industria para el almacenamiento de diversos productos químicos, dentro de esa gama de productos están los derivados del petróleo. En la industria peruana, el uso de tanques subterráneos para almacenamiento de hidrocarburos líquidos es muy usado en las estaciones de servicio. Estos establecimientos que se dedican a la comercialización de los combustibles líquidos presentan un gran problema de filtración y fuga en sus tanques enterrados y es causa de una creciente preocupación de seguridad pública y ambiental, debido a que tales equipos en su mayoría están hechos de acero al carbón, sin protección contra la corrosión, con la consecuente probabilidad de filtración e ingreso de los hidrocarburos al subsuelo, dando origen a vapores volátiles que a su vez podrían ingresar a los sótanos y desagües, ocasionado riesgos de salubridad, incendio o explosión; además de causar contaminación del agua subterránea y suelo con los que entre en contacto [1].

En atención a lo antes expuesto y a la problemática que esta representa, el presente trabajo propone contribuir una alternativa de reemplazo al tradicional uso del acero el cual es diseñar un tanque en plástico reforzado con fibra de vidrio, un material compuesto por una

resina termoplástica resistente a la corrosión y refuerzos de fibras de vidrio, los cuales aportan las propiedades estructurales, para que combinados los dos entreguen un equipo de propiedades superiores.

Para lograr tal objetivo es importante cumplir paso a paso los objetivos específicos:

- Establecer los parámetros y condiciones de diseño de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Determinar las propiedades físicas, químicas, mecánicas y el dimensionamiento de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Comprobar los resultados de diseño de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio con el software de simulación por el método de elementos finitos.
- Presupuestar el diseño de la fabricación de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Elaborar planos de ingeniería básica y planos de ingeniería de detalle.

Para el diseño del tanque, la información es obtenida de tesis nacionales e internacionales y en mayor proporción de normas de diseño internacionales las cuales se usaron para cada especificación del tanque, es decir para calcular estructuralmente cada una de sus partes, así como también para la selección de refuerzo de fibra de vidrio se regirá a la norma internacional ASME RTP1. Este estándar contiene los parámetros de diseño por formulas y el análisis de esfuerzos, así como también los parámetros de fabricación e inspección de equipos resistentes a la corrosión reforzados con fibra [2]. Para la selección adecuada de la resina que funciona como matriz del material compuesto y que aporte las propiedades de resistencia a la corrosión se usará la guía de selección de resinas vinil éster, de uno de los más grandes fabricantes a nivel mundial de este producto AOC [3]. Para formular la carga de diseño del suelo y las cargas vivas, se usará la norma americana AWWA M-45 [4]. La norma utilizada para establecer los requisitos mínimos de instalación de los tanques subterráneos es el DS 054-1993-EM [5]. Adicionalmente el diseño debe cumplir los

parámetros de pruebas contra fugas que menciona la norma para tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio para el almacenamiento de productos petrolíferos, Norma UL 1316 [6].

Es importante mencionar que el diseño del tanque de almacenamiento se enfoca específicamente en el cálculo de la resistencia estructural y química del mismo, por lo tanto, omite otras posibles consideraciones como son las partes eléctricas, de instrumentación y civiles.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los equipos esenciales en las estaciones de servicio, gasolineras o grifos presentes en todo el mundo, son los tanques de almacenamiento, estos depósitos almacenan los combustibles que son vendidos al público y sus consumidores directos.

Los tanques más usados para el almacenamiento de los derivados del hidrocarburo en las estaciones de servicio a nivel nacional son los del tipo subterráneo, la instalación y fabricación de estos equipos requiere un estricto cumplimiento de normas y estándares de seguridad nacionales e internacionales, puesto que el producto a almacenar es altamente inflamable y volátil y representa un peligro para la vida de las personas.

Hoy en día estos tanques subterráneos, vienen representando una problemática a causa de la contaminación de los suelos provocada por la pérdida de combustible debido a la corrosión del material y al elevado costo que demanda una reparación de daños.

Como lo señala la norma nacional a los tanques enterrados existentes:

La filtración y fuga de los sistemas en tanques enterrados es causa de una creciente preocupación de seguridad pública y ambiental, debido a que tales sistemas en su mayoría están hechos de acero al carbón, sin protección contra la corrosión, con la consecuente probabilidad de filtración e ingreso de los hidrocarburos al subsuelo, dando origen a vapores volátiles que a su vez

podrían ingresar a los sótanos y desagües, ocasionado riesgos de salubridad, incendio o explosión; además de causar contaminación del agua subterránea y suelo con los que entre en contacto [1, p. 1].

Por un lado el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental “Oefa” en los años del 2018 al 2020 registró 20 denuncias ambientales en la actividad de hidrocarburos para las estaciones de servicio [7], las denuncias detallan contaminación del subsuelo por filtración de hidrocarburos líquidos como se muestra en la figura 1:

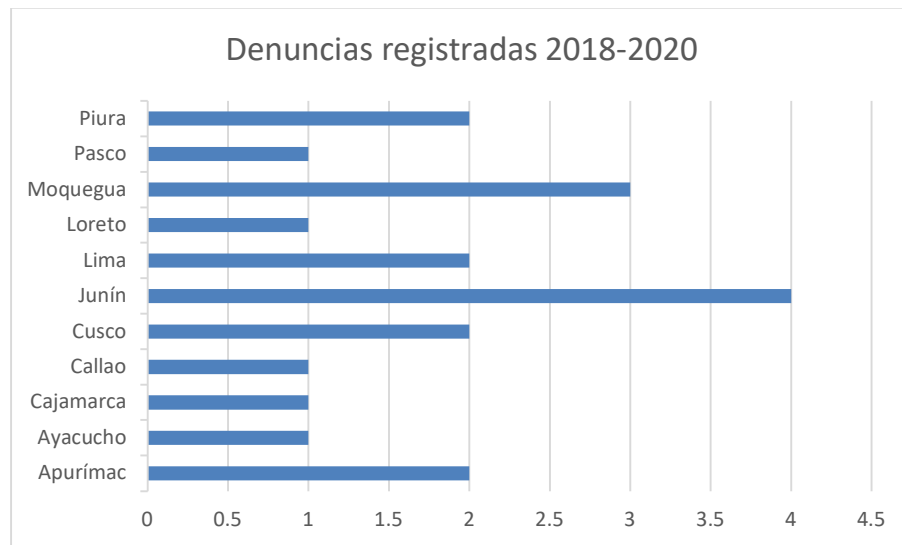


Figura 1. Histograma de denuncias ambientales registradas en el Perú por filtración y contaminación de hidrocarburos en las estaciones de servicio [7]

Por otro lado el Ministerio del Ambiente a través del expediente 097-2012-DFSAI/PAS en octubre del 2014 sanciona al Grifo San Ignacio S.A.C. ubicado en el departamento de Lima por no realizar programas regulares de mantenimiento a fin de minimizar o evitar riesgos de fugas y derrames en el tanque de gasolina de 90 octanos y segundo por no realizar actividades de rehabilitación de los suelos en el área afectada por el derrame del tanque de gasolina de 90 octanos [8].

En atención a lo antes expuesto y a la problemática que esta representa, el presente trabajo propone contribuir una alternativa de reemplazo al tradicional uso del acero el cual es diseñar un tanque en plástico reforzado con fibra de vidrio, un material compuesto con

propiedades superiores, diseñado bajo el cumplimiento de las normas: ASME RTP-1-2015 y UL-1316.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar un tanque subterráneo de 6000 galones de plástico reforzado con fibra de vidrio que cumpla con las condiciones de operación solicitadas en las estaciones de servicio para el almacenamiento de hidrocarburos líquidos?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo obtener los datos necesarios para el cálculo de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio?
- ¿Cómo definir las dimensiones y espesores de pared de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio?
- ¿Cómo comprobar los resultados de diseño de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio?
- ¿Cuál sería el costo del diseño y la fabricación de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio?
- ¿Cómo presentar una visión general y detallada del equipo a diseñar, de manera que se puedan ver los distintos detalles que lo componen?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar un tanque subterráneo de 6000 galones de plástico reforzado de fibra de vidrio para almacenamiento de hidrocarburos líquidos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Establecer los parámetros y condiciones de diseño de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Determinar las propiedades físicas, químicas, mecánicas y el dimensionamiento de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio.

- Comprobar los resultados de diseño de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio con el software de simulación por el método de elementos finitos.
- Presupuestar el diseño y la fabricación de un tanque subterráneo de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Elaborar planos de ingeniería básica y planos de ingeniería de detalle.

1.4 Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de contar con un tanque con nuevas características, hecho de un material compuesto el cual posee muchos beneficios como son; una excepcional resistencia a la corrosión, propiedades mecánicas satisfactorias para aplicaciones estructurales y beneficios de ligereza, facilidad de transporte y rapidez en la instalación, así como también un bajo costo frente al uso de otros materiales [9, p. 1].

La capacidad de almacenamiento de 6000 galones del tanque, es un volumen comercial usado en las estaciones de servicio a nivel nacional, el tamaño del tanque y su forma cilíndrica horizontal para esa capacidad son adecuados para facilitar su transporte e instalación. De acuerdo al portal web de Osinergmin en su sección de Registro de hidrocarburos [10], solamente en la provincia de Lima unos de los tanques más usados es el de capacidad de 6000 galones como se muestra en la figura 2:



Figura 2. Histograma del número de tanques usados según su capacidad en estaciones de servicio en la provincia de Lima [10]

Por otro lado el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería en el año 1993 a través del Decreto Supremo N° 052-1993-EM promulgo el reglamento de seguridad para el almacenamiento de hidrocarburos [11], la cual permite la fabricación de tanques en plástico reforzado con fibra de vidrio por lo cual el diseño del tanque tiene un amplio mercado a satisfacer.

El diseño de un equipo en plástico reforzado con fibra de vidrio abre el camino para la obtención y fabricación de los mismos a todos los fabricantes y nuevos inversionistas que pretendan introducir nuevos equipos al mercado y apostar por un negocio rentable.

El diseño de este equipo es un precedente para orientar en la realización de cálculos de tanques de diferentes capacidades y de esta manera servir como guía puesto que la información actual es limitada.

1.5 Delimitación

El proyecto de investigación viene aplicado a la industria peruana en el sector de Hidrocarburos líquidos, para las estaciones de servicio a nivel nacional. El presente trabajo pretende diseñar un tanque horizontal subterráneo de 6000 galones para el almacenamiento de hidrocarburos líquidos que operen a presión hidrostática. El tanque será diseñado de un material alternativo al acero el cual es el plástico reforzado con fibra de vidrio. Este diseño será construido bajo el marco de las normas ASME RTP1 y UL 1316. Es importante mencionar que el diseño del tanque de almacenamiento se enfoca específicamente en el cálculo de la resistencia estructural y química del mismo, por lo tanto, omite otras posibles consideraciones como son las partes eléctricas, de instrumentación y civiles.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 A nivel nacional

La presente investigación carece de antecedentes respecto al diseño de tanques subterráneos hechos en plástico reforzado de fibra de vidrio para almacenamiento de hidrocarburos líquidos; sin embargo se está considerando en los antecedentes, investigaciones de equipos de almacenamiento de otras soluciones que utilicen plástico reforzado con fibra de vidrio, así como también tanques subterráneos elaborados en otros materiales. Las investigaciones encontradas fueron:

En su estudio R. Morocco [12], realiza un diseño técnico económico de un tanque de plástico reforzado con fibra de vidrio para almacenar 500 m³ de agua, de tipo vertical y apoyado sobre el suelo, para el cálculo estructural considera la norma API650.

Al aplicar la mencionada normativa determina los espesores del cilindro, fondo y tapa considerando por separado el espesor de protección química.

Para verificar el diseño usa el criterio de falla de Von Mises y finalmente elabora un cuadro comparativo entre el tanque en plástico y un tanque de acero para obtener el estudio financiero.

El mencionado estudio sirve como guía para la identificación de las capas que conforman la pared estructural en equipos hechos en plástico reforzado de fibra de vidrio.

En su tesis J.E. Chávez [13], realiza el cálculo de soldadura de tuberías de FRP (Plástico reforzado con fibra de vidrio) basándose en la norma ASME RTP 1 – 2005 y en experiencias hechas en campo. Asimismo, cubre el cálculo de tuberías sometidas a una presión de diseño de 25 PSI para diámetros de 16" y 60".

En el desarrollo de su estudio agrupa los tipos de materiales que conforman el FRP, como son las fibras, resinas y aditivos, haciendo una descripción de sus características y propiedades, para luego hacer selección de las materias primas que serán usadas en el cálculo de la soldadura.

El mencionado estudio sirve como referencia en la presente investigación debido a que usa la misma norma de diseño y describe los tipos de materiales que conforman un compuesto en plástico reforzado de fibra de vidrio.

Según su estudio C. O. Ugarte [14], investiga el comportamiento mecánico de laminados simétricos conformados por una matriz de resina isoftálica reforzadas con capas de fibra de vidrio, y analiza el comportamiento de estas según su orientación debido a que presentan características anisotrópicas. Este estudio guarda relación con el desarrollo de la presente tesis pues hace mención a una etapa durante el diseño del tanque, que es calcular las propiedades del material compuesto con el cual se pretende aplicar.

Se presentan un resumen de sus conclusiones:

- A pesar de la variación que hay entre cada curva de caracterización con las curvas del modelo matemático y el método de elementos finitos de capa de los laminados verificados, la predicción del comportamiento del material es cercano de lo que se halló experimentalmente en el caso de tracción.
- El uso de una herramienta de método de elementos finitos es importante y más eficiente si las condiciones de contorno son bien definidas para predecir el comportamiento de materiales compuestos por diversas capas y que estén sometidos a cargas en los tres

ejes coordenadas a diferencia del modelo matemático, el solo considera las propiedades del material en un solo plano.

El mencionado estudio sirve como guía para la comprensión de las propiedades anisotropías que presentan los materiales compuestos.

En su estudio C. J. Hinostroza [15], diseña un tanque del mismo material compuesto al que se usará en el presente proyecto, haciendo referencia a la norma ASME RTP-1 2015. Sin embargo, el tipo de tanque, las condiciones de operación y uso son diferentes, por lo que en la presente tesis se cubre nuevos alcances para el diseño de tanques en plástico reforzado con fibra de vidrio.

A continuación, se presentan un resumen de sus conclusiones:

- Se logró diseñar y fabricar el tanque de FRP bajo la norma ASME RTP-1, utilizando y ajustando sus criterios de cálculo para un tanque de 6 metros de diámetro con 300m³ de capacidad.
- Los espesores de la tapa pueden ser estandarizados, al igual que los fondos, para cada diámetro en el caso de los tanques de presión hidrostática, ya que su cálculo solo depende de su geometría y la carga que es la misma en todos los casos.
- Si bien la norma RTP-1 presenta algunas limitaciones para el cálculo de tanques de grandes dimensiones, se pueden diseñar y fabricar equipos de FRP grandes como el tanque de 300m³, teniendo como base los criterios que brinda la norma y respetando sus parámetros exigidos como son: factores de seguridad, cargas de sismo, viento entre otros.

En su estudio J. Quincho [16] , realiza un diagnóstico de los tanques enterrados en las estaciones de servicio de la ciudad de Lima para determinar el grado de deterioro y obtener como resultado la cantidad de tanques que se deben poner fuera de servicio.

Se presentan un resumen de sus conclusiones:

- Según los estudios realizados, 31 tanques tienen una antigüedad de mayor o igual a 30 años.
- El 60% de los tanques de lima en las estaciones de servicio tienen una antigüedad mayor a 15 años, con el peligro de presentar fugas de combustible en los terrenos contiguos.
- Los tanques enterrados en el Perú fueron construidos en acero al carbono, con nula o escasa protección anticorrosiva.

El mencionado estudio sirve como evidencia para demostrar la corrosión que presentan los tanques enterrados hechos de acero al carbono en las estaciones de servicio en la ciudad de lima.

2.1.2 A nivel internacional

A nivel internacional tenemos las siguientes tesis:

En su tesis A. E. Villamarín [17], estudia el comportamiento de las estructuras rectangulares enterradas de concreto frente a diversos tipos de cargas haciendo uso de las normativas vigentes como son la ACI-350, NSR-10 y tablas de diseño de la PCA, para luego preparar un software que integre y consolide los documentos de diseño estructural y facilite su aplicabilidad al usuario.

Se presentan un resumen de sus conclusiones:

- El software propio aparte de cumplir su función de realizar el diseño también puede usarse para la optimización del modelo, si se consideran los tiempos que ocupan en calcular este tipo de estructuras manualmente. Este tiempo es aprovechado para realizar más revisiones y poder afinar el modelo obteniendo un adecuado producto final.
- las consideraciones que respectan tanto en los materiales como la geometría del tanque son claves para la durabilidad de modelo a través de una selección adecuada de los materiales en función del fluido y la exposición al medio ambiente. Asimismo, se

suma los nuevos métodos de cálculo, como el cálculo del factor de durabilidad ambiental.

El estudio mencionado sirve de referencia para la presente investigación pues permite evaluar las cargas que actúan en un tanque enterrado.

En su estudio A.G. Chaves [18], pretende realizar una comparación técnica económica entre un material alternativo de FRP y otro de uso común y experiencia (concreto y mampostería) para la construcción de tanques de almacenamiento de agua potable. Define cual es el material más óptimo, económico y eficiente de acuerdo a las especificaciones aplicadas en cada caso.

Debido a que la información es muy variable para cada material, realiza el diseño de los estanques, para, posteriormente presupuestarlos y realizar la comparación técnica económica.

Como resultado de su estudio de comprender los procesos constructivos de cada uno de los materiales, determina que el estanque en FRP resulta ser más económicos y eficientes, en comparación con los otros materiales.

El mencionado estudio sirve de modelo para realizar un análisis comparativo económico entre equipos de FRP frente a otros materiales.

En su estudio D. E. Flórez y J. A. Hernández [19], trabajan en un aplicativo computacional que permita al usuario realizar un análisis y diseño estructural de un tanque rectangular enterrado en concreto reforzado, teniendo como base las normativas NSR-10 y ACI 350R-95 y de esta manera obtener, planos estructurales del tanque, cantidades de obra y una memoria de cálculo.

Seguido se muestra un resumen de sus conclusiones:

- Las ventajas que presenta un aplicativo computacional frente a diseños ya estandarizados y definidos se ve reflejada en la omisión de cálculos manuales que involucran un mayor tiempo y la optimización para la mejora de los diseños.
- Se desarrolló la sistematización del análisis y diseño estructural de tanques rectangulares enterrados, siguiendo las normativas nacionales e internacionales, con herramientas informáticas, las cuales permiten ingresar los valores de diseño, y verificar si están dentro de los requisitos de las normas mencionadas.

El mencionado estudio aporta conocimientos para evaluar los criterios de diseño para tanques enterrados.

En su estudio H. W. Suarez [20], evalúa el comportamiento sísmico en tanques sobre terreno hechos en acero y concreto, así como también tuberías de acero enterradas, haciendo su análisis bajo normas nacionales e internacionales como son la API 650, ACI 350 Y ALA respectivamente.

Se presentan un resumen de sus conclusiones:

- Los tanques circulares en acero tienen mejor comportamiento sísmico frente a los tanques de hormigón, debido a su bajo peso alta resistencia por lo que su corte basal es menor.
- La norma nacional ecuatoriana NEC no brinda información para el diseño sismo resistente para tuberías de acero enterradas. Sin embargo, la normal ALA presenta un diseño sísmico y los riesgos potenciales que se pueden presentar durante un sismo.
- El diseño sísmico de tuberías enterradas en acero se basa en controlar las deformaciones axiales por tensión y compresión generadas por onda de propagación a lo largo de la tubería.

El mencionado estudio sirve como guía para conocer el cálculo de tuberías enterradas y la relación con los tanques enterrados.

En su tesis P. S. Arévalo y R. I. Barahona [21], proponen realizar el diseño estructural de dos tanques enterrados hasta el nivel de la tapa para almacenamiento de agua, de diferentes tamaños, mediante el método de seccionamiento, el método de tablas según la PCA y utilizando el programa de elementos finitos SAP 2000.

Luego de obtener los resultados se realiza una comparación de la hipótesis de los métodos, refuerzos y los precios, finalmente se concluye que para tanques rectangulares de baja profundidad el mejor método es usar las tablas de la PCA u otro programa de computadora mientras que para tanques de mayor profundidad el mejor método de diseño es el método de seccionamiento.

El mencionado estudio sirve como guía para el uso de software de elementos finitos para la verificación de esfuerzos y deformaciones.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Tanques de almacenamiento de combustibles líquidos

Los sistemas de almacenamiento de los líquidos de combustible se clasifican en: sistemas convencionales y sistemas no convencionales.

2.2.1.1 Sistemas convencionales

La clasificación de almacenamiento denominada convencional, está conformada por tanques sobre terreno y tanques enterrados. Los tanques sobre terreno o superficiales son aquellos en el cual sus paredes laterales y techo están en contacto directo con el medio ambiente, estos a su vez se subclasifican en tanques atmosféricos, tanques a presión (interna o vacío), tanques térmicos y tanques refrigerados.

Los tanques subterráneos o enterrados son aquellos que se encuentran bajo presiones o empujes del material sólido que los rodea.

2.2.1.2 Sistemas no convencionales

El sistema de almacenamiento no convencional se refiere a todo equipo que no se ha mencionado y que requiere consideraciones especiales para su diseño y construcción, los cuales pueden ser: Almacenamiento flotante, almacenamiento en plataformas marinas,

almacenamiento en pozas abiertas, almacenamiento en tanques de concreto pretensado y almacenamiento en cavernas [11].

2.2.2 Tanques subterráneos

Los tanques enterrados de almacenamiento de combustibles suelen estar bajo suelo en las estaciones de servicio, y esto se debe a que la mayoría de las estaciones son relativamente pequeñas.

El uso de tanques enterrados de capacidad inferior a los 57 m³ (15,000 gal) es adecuado, cuando los requisitos de almacenamiento por producto son relativamente pequeños [5]. La figura 3, muestra la instalación típica de un tanque subterráneo:

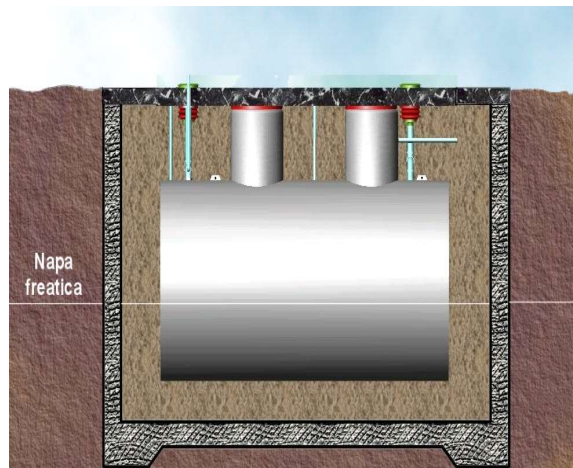


Figura 3. Tanques para almacenamiento de combustible [22]

2.2.3 Tipos de tanques subterráneos

2.2.3.1 De pared simple

Son equipos fabricados con una sola capa, es decir que cuentan con una sola pared estructural la cual la vuelve menos resistente en comparación con los equipos de doble pared. Cuando existen problemas estructurales en el tanque por acción de la corrosión o daños mecánicos, generando fisuras, agujeros y otro tipo de falla en la pared del tanque, las fugas no pueden ser detectadas en el momento inmediato del incidente. Por otro lado,

una de sus ventajas es que pueden ser más económicas y livianas durante su transporte e instalación independiente mente del material de construcción.

2.2.3.2 De doble pared

Los tanques de doble pared cuentan con un espacio intersticial entre las dos paredes, el cual sirve para poder detectar fugas tanto en la pared interior, como en la pared exterior. Este espacio intersticial debe ser llenado de una solución que no produce ninguna reacción química frente al contenido y material de fabricación del tanque, el líquido intersticial llena el espacio hasta por encima del cuerpo del tanque en un espacio que se reserva para instalar un sensor de nivel.

Cualquier falla en las paredes del tanque producirá un cambio de nivel del líquido intersticial, enviando una alarma que detectará el sensor de nivel.

Estos tanques a pesar de buena resistencia presentan costos más elevados y suelen ser más pesados lo cual dificulta su traslado. En la figura 4, se visualiza un esquema de la función de contar con una doble pared:

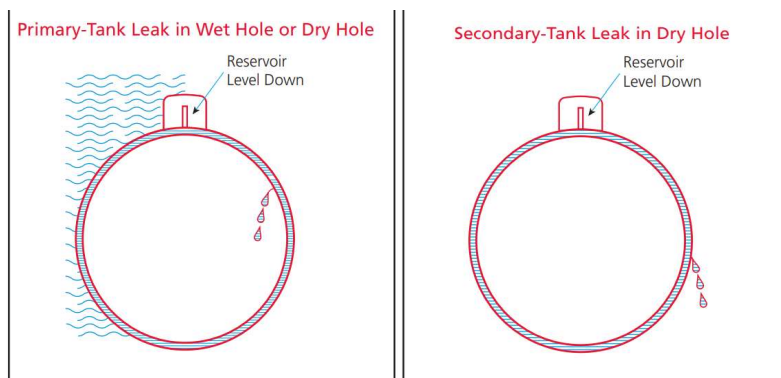


Figura 4. Funcionamiento de cámara intersticial en tanques doble pared [23]

2.2.4 Establecimiento de venta de combustibles líquidos

Las estaciones de servicio son plantas de abastecimiento donde se reciben, almacenan y despachan combustibles líquidos para los vehículos de motor de combustión interna (MCI).

Estos establecimientos de venta al público ubicados en las zonas urbanas y rurales se conforman esencialmente por los surtidores y los tanques de almacenamiento.

Su construcción y operación en el Perú se encuentra regulada por las normas nacionales a través de Osinergmin (Organismo supervisor de la inversión en energía y minería); ya que esta actividad presenta una alta probabilidad de ocurrencia de incendios y explosiones, debido a la naturaleza de los líquidos combustibles que se manipulan en forma permanente. En la siguiente figura 5 se visualiza un bosquejo de una estación de servicio y su conexión a los tanques subterráneos:

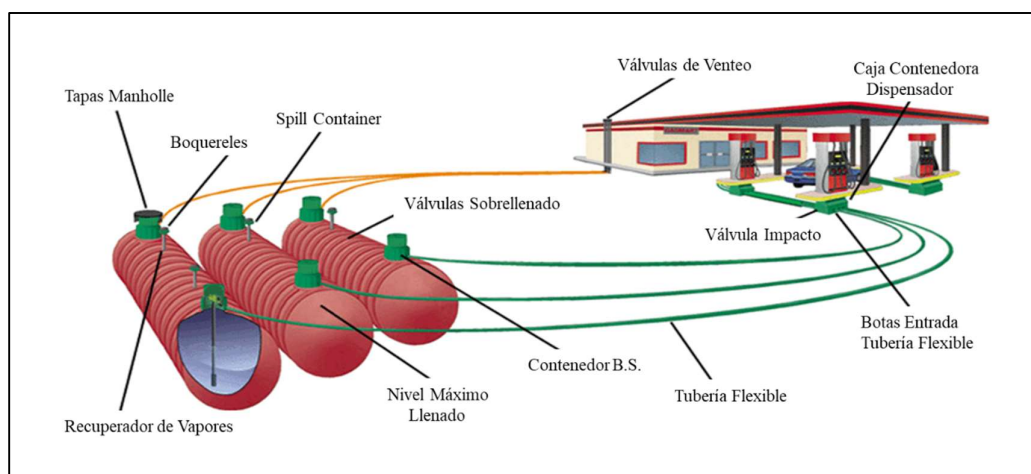


Figura 5. Distribución de una estación de servicio [22]

2.2.5 Materiales de construcción

Para seleccionar un material de construcción para los tanques subterráneos suele optarse por el uso del acero, debido a que es un material con buenas propiedades mecánicas que hace frente a condiciones severas de uso, así como también es un material tradicional y usado en todas las industrias. Su principal enemigo es la corrosión, esto representa un interrogante que abre camino a otros materiales.

El plástico reforzado con fibra de vidrio es otra alternativa para construir un tanque, pues esta tiene su mayor ventaja de ser resistente a la corrosión por ser hecho de un plástico termoestable reforzado con fibra de vidrio.

El Artículo [5]. Establece respecto a los materiales para la construcción de tanques, que estos deben ser metálicos o de plásticos reforzados con fibra de vidrio, los cuales deben ser contruidos bajo los altos estándares de diseño y lineamientos mencionados en dicho Artículo [11].

2.2.6 Normas y estándares aplicables

Para el desarrollo de esta investigación se toman en cuenta normas nacionales e internaciones que sirven como base para el análisis teórico con el cual se pretende llegar a los objetivos.

Ha sido necesario utilizar tres códigos y una norma nacional para cubrir el correcto diseño de los tanques, cada estándar es usado para:

- Para establecer los requisitos de seguridad para el almacenamiento de hidrocarburos en tanques de tipo atmosférico es empleada la norma [6].
- Para formular las ecuaciones que determinan los espesores de pared del tanque bajo presión externa e interna se utiliza la norma [2].
- Para determinar las cargas de diseño producidas por el suelo y las cargas vivas se usa la norma americana [4].
- para establecer los requisitos mínimos de instalación de los tanques subterráneos se usa la norma [5].

Cabe señalar que no se cuenta con una norma específica tanto a nivel nacional como internacional para diseñar tanques subterráneos hechos en fibra de vidrio para el almacenamiento de hidrocarburos líquidos.

A continuación, se explica el uso y la importancia de cada norma en el proyecto:

2.2.6.1 Estándar de seguridad UL-1316

El estándar UL-1316 define los requerimientos para almacenar de manera segura productos a base de petróleo, alcohol, y mezclas de Alcohol-Gasolina, en tanques fabricados en plástico reforzado con fibra de vidrio. No aplica para tanques de proceso en donde exista alguna reacción. Cubre tanques cilíndricos y esféricos de pared simple, doble y triple. Indica los tamaños estándar para los accesos, puntos de conexión, placas de erosión y otras dimensiones del tanque.

Define el régimen de prueba tanto para la calificación y certificación del producto, define el régimen de prueba del producto de manera individual durante o después de la fabricación.

Al ser un estándar de seguridad, proporciona las exigencias, sin embargo, no explica cómo conseguir cubrir estas exigencias. Es decir, no cubre la parte de diseño, fabricación, instalación, y control de calidad.

2.2.6.2 Norma ASME RTP-1

La norma ASME RTP-1-2015, Equipos fabricados con plástico termoestable reforzado resistente a la corrosión de la sociedad americana de ingenieros mecánicos, cubre el diseño, fabricación y control de calidad para tanques de almacenamiento moldeados por contacto manual y tejidos en mandril (Filament wound). Equipos fabricados a medida y diseñados para entornos químicos agresivos y a presiones internas y externas que no excedan los 15 psi sobre cualquier cabezal hidrostático.

A continuación, se muestran las consideraciones de la norma para el diseño de los equipos:

a) Factor de seguridad

El factor de seguridad para el código de diseño viene dado por la tabla 1, que se muestra a continuación.

Tabla 1: Factores de seguridad para ASME RTP-1 [24]

Condiciones de servicio	Tipo de diseño considerado	Condiciones de diseño o requisitos de prueba final	Factor de seguridad
Servicio no crítico	Sub parte 3A o Sub parte 3A + Sub parte 3B	A largo plazo	10.0
		A corto plazo o pandeo	5.0
	Solamente se aplica Sub parte 3B	No emisión acústica	9.0
		Emisión acústica	8.0
Servicio crítico	Sub parte 3A o Sub parte 3A + Sub parte 3B	A largo plazo	12.5
		A corto plazo o pandeo	6.25
	Solamente se aplica Sub parte 3B	No emisión acústica	11.25
		Emisión acústica	10.0

Notas:

- Sub parte 3A consiste en el diseño clásico por reglas (ecuaciones)
- Sub parte 3B el análisis de tensiones es mucho más refinado

b) Propiedades mecánicas del laminado

Las propiedades mecánicas de los laminados se obtienen a través de tres procedimientos diferentes los cuales son:

- Para los laminados del tipo manual (hand lay up) las propiedades mecánicas se pueden obtener de las tablas en la sub parte 2A, estos dependen de la secuencia aplicada y el espesor total del laminado. Para este procedimiento solo se considera fibras de Mat de refuerzo de 450 g/m² y Roving tejido de 800 g/m².
- Según el capítulo M-3, las propiedades mecánicas se pueden obtener mediante el análisis de laminación, a través de la teoría del laminado, agregando las propiedades mecánicas capa por capa, que son obtenidas en función de su contenido de vidrio y el módulo de resina.

- Por último, el procedimiento para obtener las propiedades mecánicas del laminado con el uso de una base de diseño que es el resultado de preparar ensayos con muestras pequeñas de laminado para luego tratar estadísticamente los resultados obtenidos.

2.2.6.3 Norma AWWA M-45

La Norma AWWA M-45 tercera edición, Manual de diseño de tubería de Plástico reforzado con fibra de vidrio proporciona información técnica y general para ayudar en el diseño, especificación, adquisición, instalación y comprensión de tuberías y accesorios de fibra de vidrio.

El manual es de importancia para el proyecto pues establece un procedimiento para determinar los parámetros de instalación para tuberías enterradas, así como también las condiciones de diseño. Estos parámetros que serán seleccionados de acuerdo con las condiciones del sitio, como son el tipo de tierra y el grado de compactación determinaran en gran medida los valores necesarios para los cálculos de diseño.

2.2.6.4 Decreto Supremo 054-1993-EM

El Reglamento de Seguridad para Establecimientos de Venta al Público de Combustibles Derivados de Hidrocarburos (artículo 76 de la ley No. 26221), Ley orgánica de hidrocarburos, establece que la comercialización de productos derivados de los hidrocarburos se sujeta a los reglamentos que dicte el Ministerio de Energía y Minas; en tal sentido se hace necesario dictar las normas que establecen los procedimientos que mejoren las condiciones de seguridad existentes en la comercialización de productos derivados de los hidrocarburos.

Debido a ello el 19 de noviembre de 1993 se aprueba el Reglamento de seguridad para establecimientos de venta al público de combustibles derivados de hidrocarburos, el mismo que contiene 04 títulos, 07 capítulos, y 84 artículos.

A continuación, se describen los requerimientos para el diseño de los tanques de almacenamiento de combustibles en las estaciones de servicio:

- Para requerimientos que no excedan los 57 m³ (15000 galones) por producto, es adecuado el almacenamiento en tanques enterrados.
- Los tanques serán contruidos con planchas de fierro o de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- En ningún caso el espesor de pared será menor de 4.7 mm (3/16 de pulgada).
- Las conexiones a los tanques deben hacer desde la parte superior. Asimismo las conexiones deben de contar con tapas herméticas. La conexión de llenado o descarga debe prolongarse hasta llegar a 15 cm del fondo.
- El tanque debe contar con una placa de identificación. Esta debe mostrar la fecha de fabricación y la presión de prueba a la cual fue sometida.
- Los tanques de almacenamiento de combustibles deberán enterrarse y protegerse para resistir los sistemas de carga exteriores a que puedan estar sometidos. En ningún caso la protección será menor a una cubierta de 0.45 metros de material estabilizado y compactado, hacia la superficie del suelo o pavimento.
- Los tanques no deben ser enterrados bajo edificios o vías públicas.
- Los tanques serán reforzados para resistir las cargas externas como el material de rellena y el tránsito de vehículos.
- La profundidad del tanque no debe ser superior a aquella para la cual la altura del líquido, contada desde el fondo del tanque, genere una presión igual o superior a la presión de diseño y prueba de tanque.
- Si el nivel freático está a menos de cuatro metros (4 m) de la superficie del terreno, los tanques se colocarán en estructuras de concreto armado o albañilería debidamente impermeabilizadas.

2.2.7 Características del plástico reforzado con fibra de vidrio

El plástico reforzado con fibra de vidrio es un material compuesto conformado por dos materiales, una resina termoestable y unos refuerzos de fibra de vidrio. Estos elementos al ser seleccionados con una combinación correcta y la cantidad de materiales y un proceso

de fabricación específico, logra que el diseñador obtenga un producto que cumpla con los requisitos más exigentes. Un material compuesto con buenas propiedades de rendimiento y una amplia gama de cualidades.

2.2.7.1 Características generales del plástico reforzado con fibra de vidrio

- Resistencia a la corrosión. - Los equipos de almacenamiento fabricados con plástico reforzado con fibra de vidrio son resistentes a la corrosión, tanto por dentro que es la superficie que está en contacto con la solución, así como por fuera que es la superficie que está en contacto con el medio ambiente, en una amplia gama de fluidos. Por lo que no se requieren revestimientos adicionales.
- Ligero. - Los compuestos de fibra de vidrio son livianos. Los equipos de fibra de vidrio son aproximadamente una sexta parte del peso del acero y una décima parte de productos de concreto.
- Propiedades eléctricas. - Los equipos pueden ser conductivos para aplicaciones que requieran la disipación de la acumulación de electricidad estática al contener ciertos fluidos como el combustible.
- Estabilidad dimensional. - Los compuestos de fibra de vidrio pueden mantener las tolerancias críticas requeridas para las aplicaciones estructurales más exigentes. El material cumple con los criterios de rigidez, tolerancia dimensional, peso y costo más estrictos.
- Bajo costo de mantenimiento. - Los tanques de fibra de vidrio son fáciles de mantener porque no se oxida, se limpia fácilmente y requiere una protección mínima del medio ambiente.
- Fabricación a medida. - Los productos en plástico reforzado con fibra de vidrio son moldeados a medida y ensamblados para cumplir cualquier requisito de forma o tamaño sin estar limitado por medidas ya definidas.

2.2.7.2 Refuerzos de fibra de vidrio

La resistencia mecánica del tanque de fibra de vidrio es determinada según la cantidad, tipo y orientación del refuerzo de fibra de vidrio. La resistencia aumenta proporcionalmente con la cantidad de refuerzo y la dirección en la que se colocan los hilos individuales.

a) Tipos de fibra de vidrio

Los materiales de fibra de vidrio están disponibles con una variedad de composiciones. Todo refuerzo de fibra de vidrio comienza como filamentos individuales de vidrio extraídos de un horno de vidrio fundido. Muchos filamentos se forman simultáneamente y se juntan en una “hebra”. Las fibras de vidrio más utilizadas en los tanques, tuberías y accesorios se denominan Tipos E, ECR y C.

Los tipos de vidrio ECR y C proporcionan buena resistencia a los ácidos. Las fibras de vidrio tipo E imparten buenas propiedades mecánicas y buenas propiedades de aislamiento eléctrico.

b) Formas de refuerzo de fibra de vidrio

A continuación, se describen las diversas formas de fibra de vidrio:

- Roving continuo. - Estos consisten en hilo de refuerzo de fibra de vidrio agrupados y se usan para aplicaciones en filament winding y poltrusión. Son usados en los refuerzos unidireccionales y bidireccionales en tanques, tuberías y accesorios. (Ver figura 6).



Figura 6. Roving continuo [25]

- Roving tejido. - Es una tela pesada tejida a partir de mechas continuas. Está disponible en varios anchos, grosores y pesos. La tela tejida proporciona alta resistencia a piezas

moldeadas grandes y tiene un costo menor que las telas tejidas convencionales. (Ver figura 7).

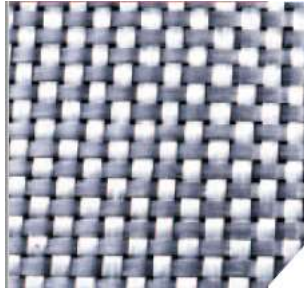


Figura 7. Roving tejido [25]

- Mat de refuerzo. - Estos son hilos cortados con aglutinantes resinosos. Son usados para dar una terminación uniforme en los laminados. (Ver figura 8).



Figura 8. Mat de refuerzo [25]

- Velo de superficie. Estas mantas de refuerzo de fibra de vidrio livianas permiten capas con un alto contenido de resina con un refuerzo mínimo. El velo de superficie proporciona resistencia química a los compuestos y es usado como primera capa para la resistencia química. (Ver figura 9).



Figura 9. Velo de superficie [25]

c) Arreglo de refuerzo

Los tres tipos generales de orientación de fibra son:

- Unidireccional. Donde la mayor resistencia está en la dirección de las fibras. Representa hasta un 80% de contenido de refuerzo por peso.
- Bidireccional. Algunas fibras son colocadas en ángulo con respecto al resto de fibras, como ocurre en el sistema de fabricación filament winding y las telas tejidas. Esto proporciona diferentes niveles de resistencia gobernados por la cantidad de fibra en cada dirección de orientación de la fibra.
- Multidireccional (isotrópica). Esta disposición proporciona una resistencia y un módulo casi iguales en todas las direcciones. Se puede obtener del 10% al 50% de contenido de refuerzo en peso.

2.2.7.3 Resinas

El segundo componente principal de los tanques de fibra de vidrio son las resinas. Los fabricantes hacen la selección de resinas según sus propiedades químicas, mecánicas, térmicas y procesabilidad. Hay dos grupos básicos de resinas, los cuales son los termoestables y los termoplásticos. Los equipos en fibra de vidrio usan únicamente las resinas termoestables. Los plásticos termoestables son sistemas de resinas poliméricas curadas por aditivos químicos. Una vez curado, un termoestable es infusible, es decir no se puede volver a fundir e insoluble.

Las resinas termo endurecibles utilizadas en la fabricación de equipos con fibra de vidrio se dividen en dos categorías generales: poliésteres y epóxicos.

a) Resinas de poliéster

Los poliésteres tienen una excelente resistencia al agua y a los productos químicos y destacan por su resistencia a los ácidos. Las resinas madres son disueltas en monómero de estireno, con el cual se retícula para proporcionar la estructura termoestable final. Las resinas se curan con catalizadores de peróxido orgánicos. El tipo y la cantidad de catalizador influirán en el tiempo de gelado, el tiempo de curado, la temperatura de curado

y el grado de curado. Los catalizadores típicos son. Peróxido de metil etil cetona (MEKP) y peróxido de bencilo (BPO). Los fabricantes pueden seleccionar entre varios tipos de poliéster y eso va depender del proceso químico y el ambiente donde quedara expuesto el equipo, de las especificaciones y exigencias del usuario final o de las recomendaciones del fabricante del sistema de resinas. Estos son:

- Poliéster ortoftálico
- Poliéster tereftálico
- Poliéster isoftálico

b) Resina Epoxi Vinilester

Sus propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas son mucho mejores, así como también su resistencia a los líquidos ácidos. El rango de permanencia a altas temperaturas es mayor que las resinas de poliéster, estas varían hasta aproximadamente los 108°C.

El tipo de agente de curado, o endurecedor es crítico por que influye en sus propiedades y el rendimiento de compuesto. Los dos tipos básicos son epóxidos de bisfenol-A con amina y anhídrido. Estos son:

- Vinilester novolac
- Vinilester bisfenol-A

2.2.8 Propiedades físicas del plástico reforzado con fibra de vidrio

La degradación producida por la acción del calor, por la acción de la humedad, los diversos efectos climáticos y el contacto directo con sustancias químicas, pueden atacar a cada elemento del material compuesto.

2.2.8.1 Resistencia química

Los equipos en FRP (Plástico reforzado con fibra de vidrio) están sujetos al ataque ambiental y al envejecimiento, cuya determinación es parte del diseño de estos equipos. Los tanques en plástico reforzado con fibra de vidrio resisten una amplia gama de productos químicos. La resistencia depende principalmente del material de matriz de resina seleccionado. Aunque otros factores como la construcción del laminado, el curado y el

método de fabricación pueden influir en la resistencia química de estos equipos. Las resinas se pueden seleccionar para proporcionar resistencia química a una amplia gama de componentes químicos.

2.2.8.2 Resistencia a la temperatura

La resistencia de los equipos en fibra de vidrio también depende en gran medida de la matriz de resina. El límite superior admisible de temperatura de servicio también estará influenciado por el entorno químico y la condición de estrés (Intensidad de esfuerzos) del sistema de tuberías. En general los agentes químicos son más agresivos a concentraciones más altas y temperaturas elevadas. Sin embargo, los equipos de fibra de vidrio no se ven afectados por las temperaturas más frías. Es importante tener en cuenta que el coeficiente de expansión térmica para las tuberías de fibra de vidrio es generalmente mayor que el de los equipos en metal. Dato importante a considerar en el diseño y en las instalaciones.

2.2.8.3 Resistencia a la abrasión

Los equipos en fibra de vidrio proporcionan generalmente buena resistencia a la abrasión y se puede personalizar para un servicio extremadamente abrasivo al revestir la tubería con arena o carburo de silicio. Los materiales de revestimiento deben igualar o superar la dureza y la agresividad del contenido que se transporta a través de la tubería o proporcionar un alto nivel de tenacidad.

2.2.8.4 Resistencia al fuego

Los sistemas de resina termoestables utilizados para fabricar materiales compuestos con fibras de vidrio son orgánicos.

Por consiguiente, bajo la combinación adecuada de calor y oxígeno, se quemará una resina termoestable, como cualquier material orgánico. Si para el diseño se requiere mejorar el rendimiento frente al fuego se puede mejorar mediante el uso de sistemas de resina que contiene halógenos o fósforo. El uso de rellenos hidratados también mejora la resistencia

a las llamas. Otros aditivos, principalmente óxidos de antimonio, también pueden aumentar la efectividad de las resinas halogenadas.

2.2.8.5 Resistencia a la intemperie

Los sistemas de resinas termoestables utilizados para fabricar los equipos de fibra de vidrio están sujetos a la degradación por la radiación ultravioleta (UV). Sin embargo, esta degradación es casi completamente un fenómeno superficial. La integridad estructural de los equipos en fibra de vidrio no se ven afectados por la exposición a la luz ultravioleta. El uso de aditivos UV en el sistema de resina o la pintura de superficies expuestas puede ayudar a reducir significativamente cualquier degradación UV. Las superficies expuestas a la luz UV generalmente se fabrican con una capa rica en resina. La resistencia a la corrosión inherente de los equipos en fibra de vidrio resiste completamente otros efectos de la intemperie, como la lluvia o el agua salada.

2.2.8.6 Resistividad eléctrica

Los ejemplos de generación estática son comunes en operaciones que involucran el movimiento de hidrocarburos líquidos, gases contaminados con partículas, partículas líquidas y polvo o fibras. Asimismo esta tasa de carga eléctrica estática aumenta cuando se produce turbulencia o cuando los materiales en contacto tienen baja conductividad.

El FRP tiene buenas propiedades de disipación y aislamiento eléctrico, lo que lo hace adecuado para numerosas aplicaciones. Ver tabla 2:

Tabla 2: Propiedades Eléctricas del FRP [26]

Property	Test Method	
Dielectric Constant	ASTM D150	4.18
Dissipation Factor	ASTM D 150	0.0078
Dielectric Strength, v/min	ASTM D149	>350
Surface resistivity, ohm	ASTM D257	8×10^{14}

Para esta investigación las propiedades de aislamiento eléctrico pueden representar una desventaja, sin embargo esto se puede evitar consiguiendo una superficie conductiva. Dentro de la variedad de fibras de vidrio, y para lograr conductividad superficial se añade una capa de velo de superficie de carbono para que a través de este relleno se pueda impartir conductividad a la superficie. Seguido el carbono se debe conectar a una placa de acero inoxidable incrustada en el laminado y luego conectado a tierra de manera adecuada.

2.2.9 Sistemas de Fabricación

La construcción de un laminado en plástico reforzado de fibra de vidrio está conformada por tres capas que combinadas constituyen la pared estructural para ambientes agresivos.

Estas capas son:

- Barrera química y capa interna. Esta capa en el laminado es la que aporta la resistencia química, pues se encuentra en contacto directo con el agente corrosivo. Es una superficie rica en resina con un 90% de relación fibra / resina, y esta reforzada con un velo de superficie. Seguido esta la capa interna que es la porción del laminado compuesta por múltiples refuerzos de mat 450 g/m² saturadas con un 75% de resina y dependiendo del grado de severidad del agente corrosivo se añaden más de dos capas de mat de refuerzo.
- Capa estructural. Esta capa es la que aporta la resistencia estructural y está diseñada para soportar las cargas causadas por presiones, vientos, sismos u otras condiciones establecidas en el diseño. En esta capa se alteran refuerzos de fibra de vidrio del tipo mat 450 g/m² y roving tejido de 800 g/m² hasta alcanzar el espesor estructural según el diseño. El contenido de vidrio en este laminado varía entre el 30 a 45%. Asimismo, esta capa también puede ser construida con refuerzo de roving continuo la cual será enrollada helicoidalmente sobre un mandril. El contenido de vidrio para el roving continuo esta de 55 a 70% en peso.

- Capa externa o de terminación. La capa externa de respaldo, forma el acabado externo y deberá resistir los ambientes corrosivos y de desgaste, para ello se le añaden aditivos y pigmentos para protección contra la radiación solar, asimismo las capas externas rica en resina deberá demostrar propiedades anti-hongos y antibacterianas. Esta capa también se puede configurar añadiendo cargas de carbón o grafito para lograr una superficie conductiva frente a las cargas estáticas. Y cuando el diseño lo especifique se pueden añadir aditivos retardantes al fuego como el trióxido de antimonio. (Ver figura 10).

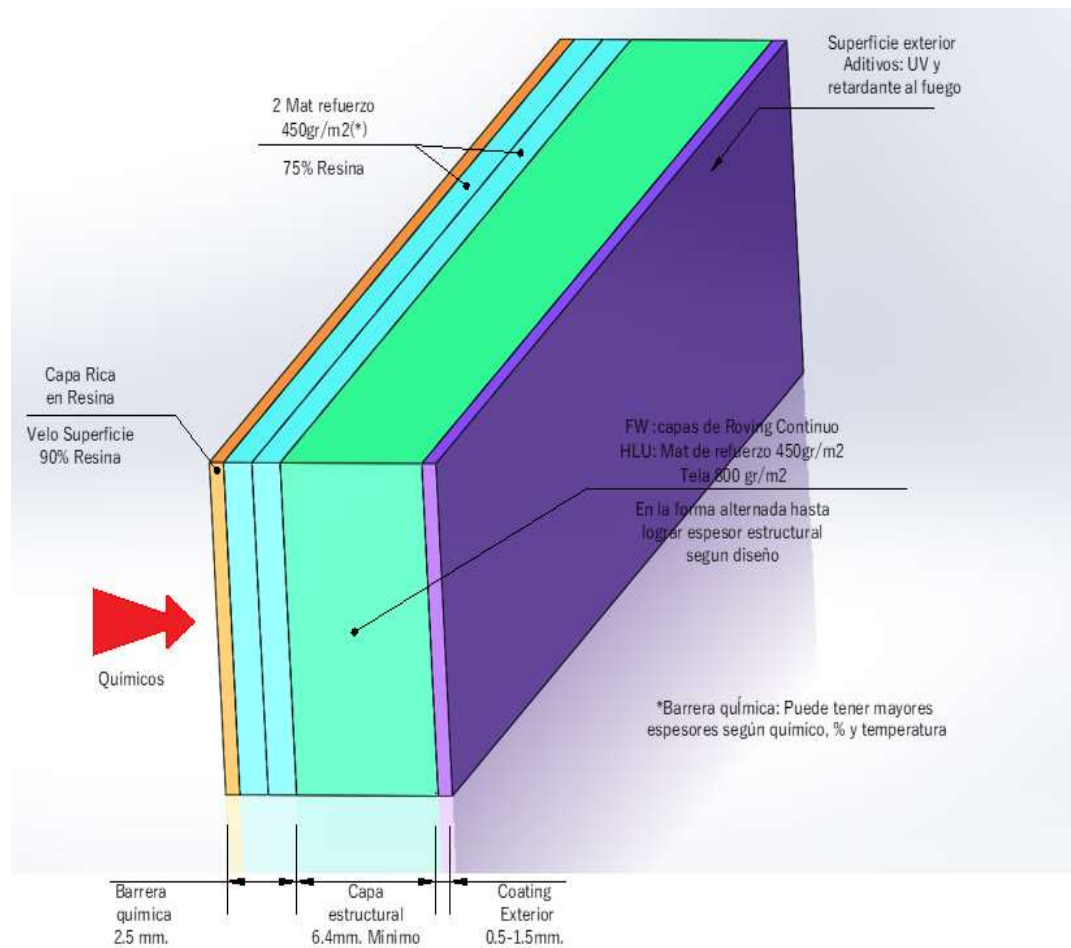


Figura 10. Secuencia típica para laminados en plástico reforzado con fibra de vidrio

La secuencia de laminado mencionada se puede construir por dos sistemas de fabricación standard los cuales son:

2.2.9.1 Fabricación por moldeo manual (Hand lay up)

Este proceso como su nombre mismo lo indica consiste en la colocación manual de los refuerzos de fibra de vidrio sobre un molde y luego son impregnados con resina catalizada. La resina en estado líquido es aplicada con rodillos o brochas durante 20 a 30 minutos aproximadamente, este es el tiempo de trabajo en la cual la resina permanece en estado líquido. Durante ese tiempo se aprovecha para humectar completamente las fibras con resina, haciendo uso de unos rodillos compactadores para eliminar las burbujas de aire atrapadas.

Esta secuencia se repite hasta alcanzar el espesor deseado considerando un intervalo de curado entre un determinado número de capas, este tiempo de curado produce una reacción exotérmica en el laminado es por ello que se debe esperar hasta su enfriamiento para la continuación de las demás capas y de esta forma garantizar un laminado de calidad. (Ver figura 11).



Figura 11. Laminado manual - Hand lay up [27]

2.2.9.2 Fabricación por Filament Winding

Los procesos de laminado conocido como enrollamiento por filament winding, es un proceso más sofisticado que el laminado manual, los moldes usados para laminación por enrollado son conocidos como mandriles, y son matrices cilíndricas de diferentes diámetros los cuales se seleccionan según la capacidad del equipo. En el inicio del proceso estos moldes deben portar con un desmoldante que generalmente son unos films de poliéster (Mylar) colocados manualmente.

Seguido se coloca manualmente la barrera química, esta es de aplicación manual pues debe ser rica en resina y colocada con mantas de fibra de vidrio. Cuando la barrera química haya alcanzado su tiempo de gelado. El mandril es configurado para seguir un patrón de tejido haciendo uso de las fibras roving continuo. Estas fibras son presaturadas en un baño de resina y seguido son enrolladas helicoidalmente en un ángulo específico sobre el mandril giratorio hasta alcanzar el espesor estructural requerido. Finalmente, el ángulo aplicado y la cantidad de hilos determinan la resistencia circunferencial y axial del equipo cilíndrico. (Ver figura 12).

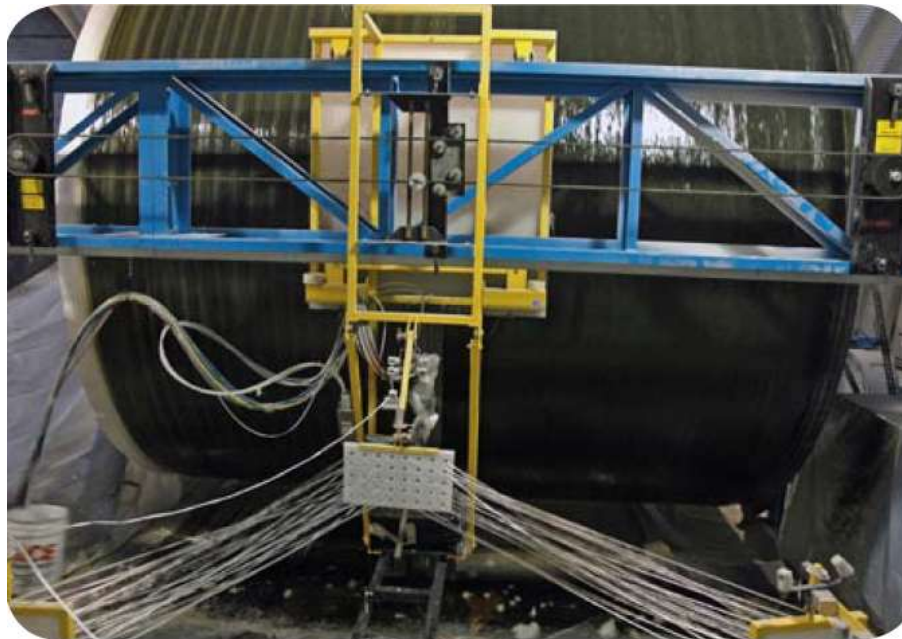


Figura 12. Laminado por Filament Winding [3]

2.2.10 Diseño del tanque

2.2.10.1 Prueba de presión interna

De acuerdo a la norma [6], el tanque deberá resistir una prueba de presión de 1.76 kg-f/cm². Esta verificación se realiza con un factor de seguridad de 5 para cargas eventuales.

2.2.10.2 Carga muerta

Para calcular la carga vertical del suelo, es necesario conocer el peso específico del suelo que se colocara sobre el tanque. Conociendo estos valores se puede determinar la carga muerta sobre el tanque con la siguiente ecuación 1:

$$W_C = \gamma_S H \quad (1)$$

Donde:

W_C : Carga vertical del suelo, kg-f/cm²

γ_S : Peso específico del suelo, kg/m³

H : Profundidad de enterramiento, cm

2.2.10.3 Cálculo de la carga viva

El cálculo de la carga viva en el tanque para el tráfico de la superficie que utiliza la norma [28], se basa en el procedimiento propuesto por AASHTO LRFD (filosofía de diseño de factor de carga y resistencia de la Asociación Estadounidense de Oficiales de Carreteras y Transportes del Estado). El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación 2:

$$W_L = \frac{M_p P I_f}{L_1 L_2} \quad (2)$$

Donde:

W_L : Carga viva en el tanque, Kg-f/cm²

M_p : Factor de presencia múltiple =1.2. Aumenta la carga viva en 20% ante la posibilidad de que se presenten cargas mayores a la carga P .

P : Magnitud de la carga en la rueda del camión más pesado que pueda pasar sobre la zona del tanque, Kg

Ver figura 12:

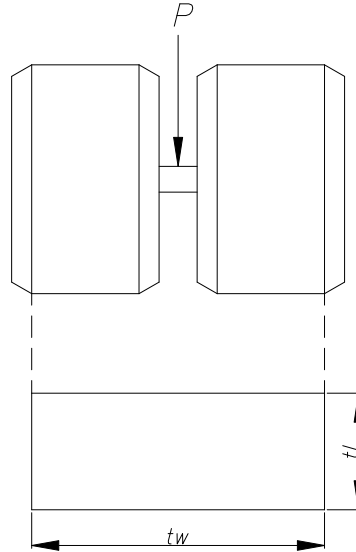


Figura 13. Representación de la Magnitud de la carga en la rueda del camión

I_f : Factor de impacto, este valor está en función de la profundidad del tanque

L_1 : Distancia paralela a la dirección del viaje del área de influencia de la carga viva, m

L_2 : Distancia perpendicular a la dirección del viaje del área de influencia de la carga viva, m

Ver figura 13:

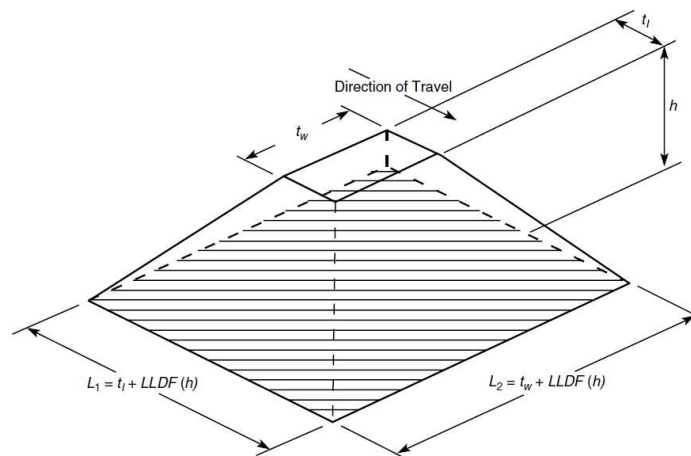


Figura 14. Distribución de la carga viva a través del relleno [4]

Para el cálculo de la carga de la rueda vamos a considerar el tipo de camión AASHTO HS-25 considerado en [4], el cual presenta una carga de:

$$P = 9100 \text{ kg}$$

Para poder calcular la carga viva en la zona del tanque, se requiere calcular el valor de I_f , L_1 y L_2 . Los Valores de L_1 y L_2 se encuentran en función también de la distancia h , que es medida desde la cota rasante hasta el borde superior del tanque.

El factor de impacto es determinado por la siguiente ecuación 3:

$$I_f = 1 + 0.33 \left[\frac{(2.44 - h)}{2.44} \right] \geq 1.0 \quad (3)$$

h : Altura de la cobertura que es igual a la profundidad de enterramiento "H", m

El cálculo de L_1 se obtiene mediante la siguiente ecuación 4:

$$L_1 = t_l + LLDF(h) \quad (4)$$

Donde:

t_l : Longitud de la huella de la rueda, el valor recomendado es de 0.25 m.

$LLDF$: Es un factor que afecta la distribución de la carga viva respecto a la profundidad del tanque. Para suelos SC1 y suelos SC2 el valor de este parámetro es 1.15, y para otro tipo de suelos se de usar un valor de 1.

Los tipos de suelo para el material de relleno según la clasificación presentada por la AWWA se muestran en la siguiente tabla 4:

Tabla 3: Tipos de suelo para relleno [4]

Categoría de Rigidez del suelo	Tipo de suelo
SC1	Piedra triturada
SC2	Suelos limpios de grano grueso
SC3	Suelo de grano grueso con finos
	Suelo arenoso o de grano fino con grava
SC4	Suelos de grano fino
SC5	Suelos Orgánicos y de alta plasticidad

Entonces para obtener el valor de L_1 , primero se define el material de relleno, que en este caso y según la recomendación de [28], el tipo de suelo es SC1 piedra triturada.

Para calcular L_2 se debe conocer primero la profundidad h_{int} , que es la profundidad a la que la carga de las ruedas interactúa y que se calcula según la ecuación 5:

$$h_{int} = \frac{(1.83 - t_w)}{LLDF} \quad (5)$$

Donde:

t_w : Ancho de proyección de las ruedas, el valor recomendado es de 0.50 m.

El valor de L_2 se calcula teniendo en cuenta la siguiente condicional:

Si $h \leq h_{int}$

$$L_2 = t_w + LLDF(h) \quad (6)$$

Si $h \geq h_{int}$

$$L_2 = \frac{[t_w + 1.83 + LLDF(h)]}{2} \quad (7)$$

2.2.10.4 Cargas externas

Las cargas externas que actúan sobre el tanque representan la presión crítica de colapso, esta presión de vacío es la suma de la carga viva y la carga muerta, como se muestra a continuación en la ecuación 8:

$$P_v = W_C + W_L \quad (8)$$

Donde:

P_v : Presión de vacío admisible, kg-f/cm²

2.2.10.5 Parámetros mecánicos de los materiales compuestos

Las propiedades mecánicas usadas en el análisis de laminación para la composición de pared estructural del tanque son de acuerdo a ASME RTP-1 (2015) [2].

La construcción del laminado debe estar de acuerdo con la secuencia de disposición tabulada para el tipo de laminado manual II, detallada en la Tabla 5 como se muestra a continuación:

Tabla 4: Composición de laminado estándar tipo II [2]

Espesor nominal (mm)	Secuencia de laminado																				Resumen de secuencia
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
5.6	V	M	M	M	T	M															V,2M,MRM
7.4	V	M	M	M	T	M	T	M													V,2M,2(MR)M
9.4	V	M	M	M	T	M	T	M	T	M											V,2M,3(MR)M
10.4	V	M	M	M	T	M	T	M	T	M	M										V,2M,3(MR)M,M
12.4	V	M	M	M	T	M	T	M	T	M	M	T	M								V,2M,3(MR)M,MRM
14.2	V	M	M	M	T	M	T	M	T	M	M	T	M	T	M						V,2M,3(MR)M,2(MR)M
16.3	V	M	M	M	T	M	T	M	T	M	M	T	M	T	M	T	M				V,2M,3(MR)M,3(MR)M
17.3	V	M	M	M	T	M	T	M	T	M	M	T	M	T	M	T	M	M			V,2M,3(MR)M,3(MR)M,M
19.3	V	M	M	M	T	M	T	M	T	M	M	T	M	T	M	T	M	M	T	M	V,2M,3(MR)M,3(MR)M,MRM

El espesor nominal mostrado en la (tabla 4) es calculado de la suma total de cada tipo de capa de fibra, según su espesor equivalente como se muestra a continuación:

V = Velo de superficie de 30 g/m² - 0.25 mm

M = Fibra mat 450 g/m² - 1.00 mm

T = Fibra bidireccional 800 g/m² - 1.00 mm

Estos espesores mínimos y el contenido de vidrio de cada secuencia de capas se pueden verificar y reajustar de acuerdo a cada fabricante.

Las propiedades mecánicas para el sistema de fabricación manual vienen dadas en la tabla 6. Estos valores no se utilizarán cuando los laminados se fabriquen para sus usos por encima de 82°C.

Tabla 5: Valores mínimos para laminados planos [2]

Espesor nominal (mm)	Tipo	Resistencia ultima a la tracción (kg-f/cm ²)	Módulo de tracción (kg-f/cm ²)	Resistencia ultima a la flexión (kg-f/cm ²)	Módulo de flexión (kg-f/cm ²)
Todos	I	632.76	70 306.96	1 124.91	49 214.87
5.6	II	843.68	91 399.05	1 335.83	56 245.57
7.4	II	949.14	98 429.74	1 406.14	63 276.26
9.4 y superiores	II	1054.60	105 460.4	1 546.75	70 306.96

2.2.10.6 Densidad del laminado

Típicamente se conoce el peso por área de fibra, la densidad de la fibra y la densidad de la resina para una lámina compuesta o capa. Estos valores son proporcionados por los fabricantes y son la base para el cálculo de las propiedades mecánicas del material compuesto. Las ecuaciones mostradas en la sección M3-200 de la norma [2] nos permiten calcular la densidad del compuesto para el laminado tipo II seleccionado para este estudio.

A continuación, se muestra dicho cálculo:

Densidad de la resina: $\rho_m = 1295.42 \text{ kg/m}^3$

Densidad de la fibra: $\rho_f = 2610.22 \text{ kg/m}^3$

Peso por área de fibra mat: $K_{\text{mat}} = 0.45 \text{ kg/m}^2$

Peso por área de fibra bidireccional: $K_{\text{bid}} = 0.8 \text{ kg/m}^2$

Espesor de una capa de fibra mat: $t_{\text{mat}} = 1 \text{ mm}$

Espesor de una capa de fibra bidireccional: $t_{\text{bid}} = 1 \text{ mm}$

Fracción de volumen en fibra según la siguiente ecuación 9:

$$V_k = K/(t_k \rho_f) \quad (9)$$

Densidad de la lámina compuesta según la siguiente ecuación 10:

$$D_k = V_k \rho_f + (1 - V_k) \rho_m \quad (10)$$

La densidad total se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación 11:

$$D_T = \sum t \times D_k / t \quad (11)$$

2.2.10.7 Diseño por presión interna

La presión producida por efecto de la densidad del combustible y la profundidad máxima de almacenamiento ocasiona una presión máxima en el fondo del tanque la misma que es calculado a continuación en la ecuación 12:

$$P_h = \rho H_{\text{hid}} \quad (12)$$

Donde:

P_h : Presión hidrostática, kg-f/cm²

ρ : Densidad de diseño, kg/m³

H_{hid} : Profundidad máxima, m

2.2.10.7.1 Espesor de pared cilíndrica

El cálculo del cilindro por presión interna será en base a la sección 3A-210 de la norma [2].

Para la construcción por laminado manual los espesores se calculan de acuerdo a la ecuación 13 y 14:

Carga circunferencial:

$$t_h = \frac{PD}{2S_h/F} \quad (13)$$

Carga axial:

$$t_a = \frac{PD}{4S_a/F} \quad (14)$$

Donde:

D : Diámetro interior, cm

FS : Factor de seguridad,

P_i : Presión interna, kg-f/cm²

S_a : Resistencia ultima a la tensión axial, kg-f/cm²

S_h : Resistencia ultima a la tensión circunferencial, kg-f/cm²

t_a : Espesor de pared para esfuerzo axial, cm

t_h : Espesor de pared para esfuerzo circunferencial, cm

2.2.10.7.2 Espesor de la tapa toriesferica

El cálculo de la tapa toriesferica será en base a la sección 3A-230 de la norma [2].

El espesor mínimo de la tapa toriesferica debe ser calculado por la siguiente ecuación 15:

$$t = \frac{0.885PR_c}{S_u/F} \quad (15)$$

Donde:

P : Presión interna, kg-f/cm^2

R_c : Radio de la corona de la tapa, $\text{cm.} = D$

S_u : Resistencia última a la tensión, kg-f/cm^2

t : Espesor de tapa, cm

FS : Factor de seguridad, cm

2.2.10.8 Diseño por presión externa

El cálculo de las partes del tanque fabricados en plástico reforzado con fibra de vidrio, presentan como esfuerzo crítico a la presión externa, que es la suma de las presiones de enterramiento y la carga viva a través de la rueda de un camión.

Estos esfuerzos generan una compresión circunferencial, esta presión lateral en los cilindros puede ocasionar fallas por inestabilidad elástica como se muestra en la siguiente figura 15:

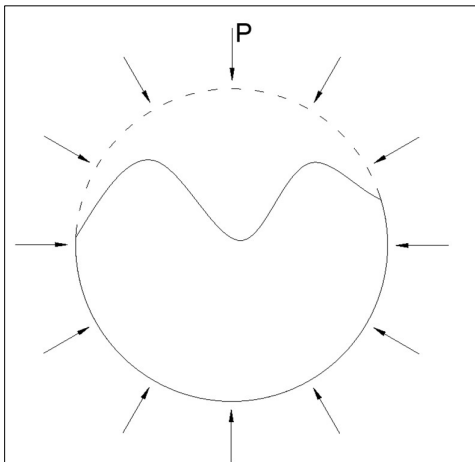


Figura 15. Colapso por compresión circunferencial

Este tipo de falla también es conocido como colapso o pandeo circunferencial y pueden ocurrir a esfuerzos muy por debajo de la resistencia a la compresión del material. La capacidad de soportar esfuerzo de compresión se mide por la rigidez de la estructura, que así mismo dependen de su geometría y del módulo de elasticidad del material con el cual se construye.

Es importante precisar que la rigidez de una estructura no está relacionada con su resistencia. Así, una estructura cilíndrica puede soportar altas presiones internas y fallar debido a la inestabilidad elástica a bajas presiones externas. Por lo tanto, el análisis de las presiones externas es fundamental.

Seguido vamos a presentar un procedimiento para calcular los tanques sometidos a presión externa.

2.2.10.8.1 Espesor de la pared cilíndrica por presión externa

Al momento de calcular la estabilidad elástica de los cilindros sometidos a presión lateral, es importante tener en cuenta el concepto de longitud crítica, que corresponde a la distancia entre los anillos de refuerzo de donde pierden su efecto de rigidez.

El uso de anillos de refuerzo reduce los espesores de la pared del cilindro y por lo tanto es considerado en el diseño del tanque.

La pared del cilindro es calculada de acuerdo a la sección 3A-300 de la norma [2], mediante las siguientes ecuaciones 16 y 17:

$$Z_p = \frac{E_{hf}^{\frac{3}{2}} E_a^{\frac{1}{2}}}{E_{af}^2} (1 - \nu_{ah} \nu_{ha})^{1/2} \frac{L^2}{\left(\frac{D_0}{2}\right) t} \quad (16)$$

$$P_a = \frac{KD(0.853)\gamma E_{hf}^{3/4} E_{at}^{1/4} t^{5/2}}{(1 - \nu_{ah} \nu_{ha})^{3/4} L \left(\frac{D_0}{2}\right)^{3/2} FS} \quad (17)$$

Donde:

D : Diámetro interior, cm

D₀ : Diámetro exterior, cm

E_{af} : Módulo de flexión axial, kg-f/cm²

E_{at} : Módulo de tensión axial, kg-f/cm²

E_{hf} : Módulo de flexión circunferencial, kg-f/cm²

FS : Factor de seguridad de diseño, el valor para presión externa es 5

KD : Factor de caída, el valor recomendado para laminados tipo I y II es 1.0

L : Longitud de una sección del cilindro entre la mayor distancia de centro a centro entre dos anillos de refuerzo adyacentes, cm

ν_{ah} : Relación de poisson en flexión para la dirección axial

ν_{ha} : Relación de poisson en flexión para la dirección circunferencial

P_a : Presión externa admisible, kg-f/cm²

t : Espesor de pared cilíndrica, cm

γ : Factor de reducción desarrollado para correlacionar mejor las predicciones teóricas y los resultados de las pruebas.

2.2.10.8.2 Cálculo de los anillos de refuerzo

La configuración de los anillos de refuerzo será en base al apéndice NM-17 de la norma [2], para equipos sometidos a presión externa o presión interna de vacío.

Los anillos de refuerzo serán diseñados para ser fabricados por un laminado manual tipo II. El anillo de refuerzo seleccionado será del tipo media caña como se muestra en la siguiente figura 16:

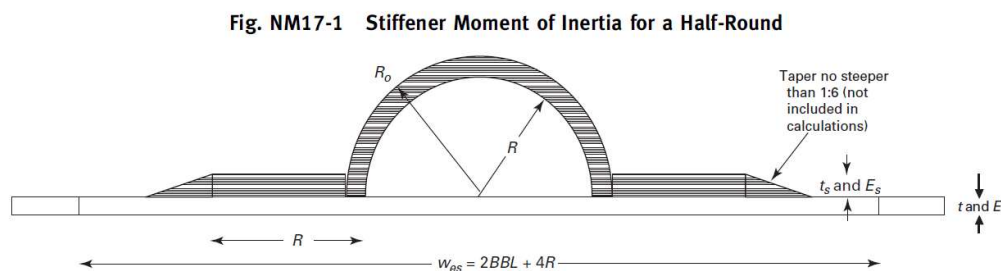


Figura 16. Momento de inercia para anillo de refuerzo media caña [2]

Los siguientes enunciados son ecuaciones y cálculos para la figura 16:

:

R: Radio del anillo de refuerzo, cm

t_s = Espesor asumido, cm

E_s = Modulo circunferencial del anillo de refuerzo kg-f/cm²

t = Espesor de la pared del tanque, cm

E: Modulo circunferencial de la pared del tanque kg-f/cm²

D_h : Rigidez a la flexión circunferencial del tanque, kg*cm

D_a : Rigidez a la flexión axial del tanque, kg*cm

ν_{ha} : Relación de poisson en la dirección circunferencial

ν_{ah} : Relación de poisson en la dirección axial

L_s : Longitud entre anillos de refuerzo, cm

FS: Factor de diseño

P_a : Presión externa, kg-f/cm²

D: Diámetro interno del tanque, cm

Diámetro externo del tanque definido por la ecuación 19:

$$D_o = D + 2t \quad (18)$$

La capa límite de flexión (BBL) en la pared del tanque se basa en la teoría de pared ortotrópica y es calculada para determinar el ancho efectivo de la pared del tanque. Según la siguiente ecuación 20:

$$BBL = 0.527 \sqrt{\frac{D_o}{2} (t) \sqrt{\left(\frac{1}{1 - \nu_{ah}\nu_{ha}}\right) \frac{D_a}{D_h}}} \quad (19)$$

BBL: Capa límite de flexión, cm

El ancho efectivo de la pared del tanque se halla según la ecuación 21:

$$w_{es} = 2BBL + 4R \quad (20)$$

w_{es} : Ancho efectivo, cm

El radio exterior del anillo de refuerzo se halla según la ecuación 22:

$$R_o = R + t_s \quad (21)$$

R_o : Radio exterior, cm

El área de la pared del tanque se halla según la ecuación 23:

$$A = w_{es} \times t \quad (22)$$

A: Área de la pared del tanque, cm²

El área de la acumulación de las capas de fibra para el anillo de refuerzo se halla según la ecuación 24:

$$A_b = 2(R - t_s)t_s \quad (23)$$

A_b : Área de la acumulación de las capas, cm²

El área de la media caña se halla según la ecuación 25:

$$A_r = \frac{\pi}{2} \times (R_o^2 - R^2) \quad (24)$$

A_r : Área de la media caña, cm²

El área total se halla según la ecuación 26:

$$A_t = A + A_b + A_r \quad (25)$$

A_t : Área total, cm²

Cálculo del módulo circunferencial efectivo de la pared del tanque y el anillo de refuerzo de acuerdo a la siguiente fórmula 27:

$$E_h = \frac{AE + A_b \times E_s + A_r \times E_s}{A_t} \quad (26)$$

E_h : Módulo circunferencial efectivo de la pared del tanque $\frac{\text{kg-f}}{\text{cm}^2}$

Para el cálculo de los anillos rigidizadores del tanque es importante conocer el momento de inercia requerido, este cálculo debe incluir la longitud efectiva de la cubierta, es decir la distancia definida previamente entre anillos. Asimismo, esta no debe ser menor que el determinado por la siguiente fórmula 28:

$$I_s = \frac{P_a L_s D_o^3 F S}{24 E_h} \quad (27)$$

I_s : Momento de inercia requerido, cm⁴

El cálculo del centro de gravedad de la pared relativo al diámetro exterior del tanque, se halla según la siguiente ecuación 29:

$$CG_w = \frac{-t}{2} \quad (28)$$

CG_w : Centro de gravedad de la pared relativo al diámetro, cm

El cálculo del centro de gravedad de la acumulación de las capas de fibra de vidrio del anillo de refuerzo relativo al diámetro exterior del tanque se halla según la siguiente ecuación 30:

$$CG_b = \frac{t_s}{2} \quad (29)$$

$CG_b = 0.9$ cm Centro de gravedad de la acumulación de las capas, cm

El cálculo del centro de gravedad del anillo de refuerzo tipo media caña relativa al diámetro exterior del tanque se determina según la siguiente ecuación:

$$CG_r = \frac{4}{3\pi} \times \frac{R_o^2 + R_o \times R + R^2}{R_o + R} \quad (30)$$

CG_r : Centro de gravedad del anillo de refuerzo, cm

El cálculo del centro de gravedad efectivo relativo al diámetro exterior del tanque se determina según la ecuación 32:

$$CG_e = \frac{CG_w \times A + CG_b \times A_b \times \frac{E_s}{E} + CG_r \times A_r \times \frac{E_s}{E}}{A + A_b \times \frac{E_s}{E} + A_r \times \frac{E_s}{E}} \quad (31)$$

CG_e : Centro de gravedad efectivo relativo al diámetro exterior, cm

El momento de inercia efectivo considerando los diferentes módulos del anillo de refuerzo y la pared del tanque es calculado mediante las siguientes ecuaciones 33, 34 y 35:

$$I_e = I_1 + I_2 \quad (32)$$

$$I_1 = \frac{E_s}{E_h} \left[\frac{w_{es} \times t^3}{12} + \frac{2[(R - t_s) \times t_s^3]}{12} + \left(\frac{\pi}{8} \times (R_o^4 - R^4) - \frac{8}{9\pi} \times \frac{(R_o^3 - R^3)^2}{R_o^2 - R^2} \right) \right] \quad (33)$$

$$I_2 = A(CG_e - CG_w)^2 \times \frac{E}{E_h} + A_b(CG_e - CG_b)^2 \times \frac{E_s}{E_h} + A_r(CG_r - CG_e)^2 \times \frac{E_s}{E_h} \quad (34)$$

Y seguido podemos saber el momento de inercia efectivo:

I_e : Momento de inercia efectivo, cm^4

Finalmente se debe cumplir la siguiente expresión 36:

$$I_e > I_s \quad (35)$$

En caso de que no cumpliera se procedería a verificar e incrementar las dimensiones de la nervadura, así como también sus espesores de laminado.

2.2.10.8.3 Cálculo de la tapa toriesferica

El cálculo de la tapa toriesferica será en base a la sección 3A-320 de la norma [2].

El espesor mínimo de la tapa toriesferica bajo presión externa se calcula de la siguiente ecuación 37:

$$t_t = R_0 \left(\frac{FP_a}{0.36E_f} \right)^{0.5} \quad (36)$$

Donde:

t_t : Espesor de pared mínimo, cm

R_0 : Radio de la corana de la tapa, cm

F : Factor de seguridad = 5

P_a : Presión de diseño externa, $kg\text{-f}/cm^2$

E_f : Módulo de elasticidad a la flexión para la tapa, $kg\text{-f}/cm^2$

2.2.10.9 Soldaduras de unión de las partes del tanque

Las partes de mayor tamaño del tanque subterráneo están conformados principalmente por el cuerpo cilíndrico y las tapas laterales, estos cuerpos serán ensamblados para conformar un solo equipo, este tipo de unión en la industria de los plásticos reforzados con fibra de vidrio se logra mediante la colocación de un vendaje de amarre entre el cilindro y la tapa ensambladas a tope. Este procedimiento consiste en la colocación de capas de fibra de vidrio que envuelven todo el perímetro del tanque con un ancho determinado, esta colocación de capa se repite una tras otras hasta lograr el espesor deseado según diseño. La norma [2] en su sección 4-130 nos especifica el procedimiento adecuado para realizar una correcta configuración de vendajes de unión (soldaduras) los cuales se describen a continuación.

La superposición de capas con un espesor “t” será suficiente para soportar los esfuerzos que incurren en la unión, así como también la longitud de las capas superpuestas serán suficientes para proporcionar una resistencia al corte.

El laminado de superposición para laminados tipo II consiste en alternar capas de fibra de vidrio mat y woven roving equivalentes a la pared estructural del cilindro o 0.6 cm de espesor de laminado de superposición mínimo.

El ancho del laminado de superposición debe tener un mínimo de 15 cm. La colocación de cada fibra mat debe ser mayor que la woven roving en 2.5 cm de ancho. La primera capa y última capa de fibra en el laminado de superposición debe ser mat.

El laminado de superposición resistente a la corrosión debe consistir en un mínimo de 03 capas, dos capas de fibra mat y por último un velo de superficie, que es la capa expuesta a los hidrocarburos. Estas capas deben tener un ancho mínimo de 15 cm.

La siguiente figura 17 muestra las consideraciones a tener en cuenta para una unión a tope entre un cilindro y una tapa toriésferica:

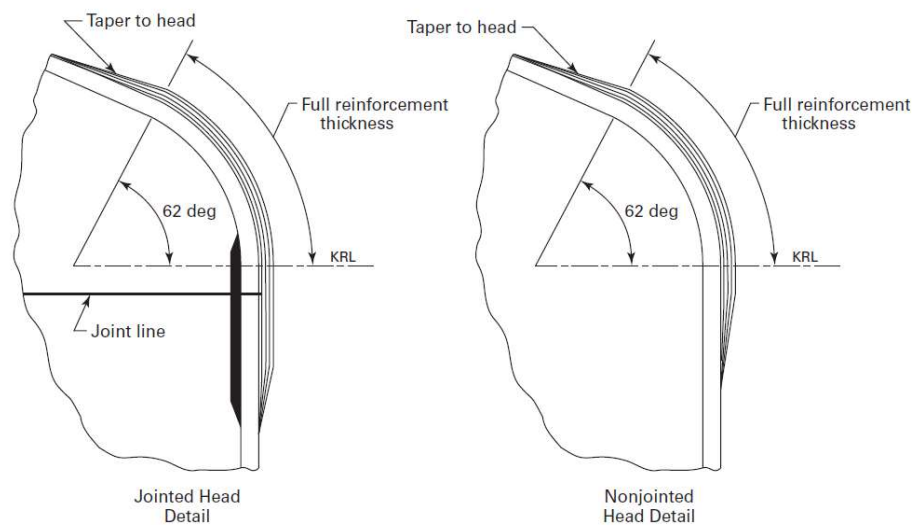


Figura 17. Tapas toriesfericas sujetas a cargas internas [2]

La siguiente figura 18 muestra un esquema general del tanque, el cual incluye los vendajes de unión “soldaduras”:

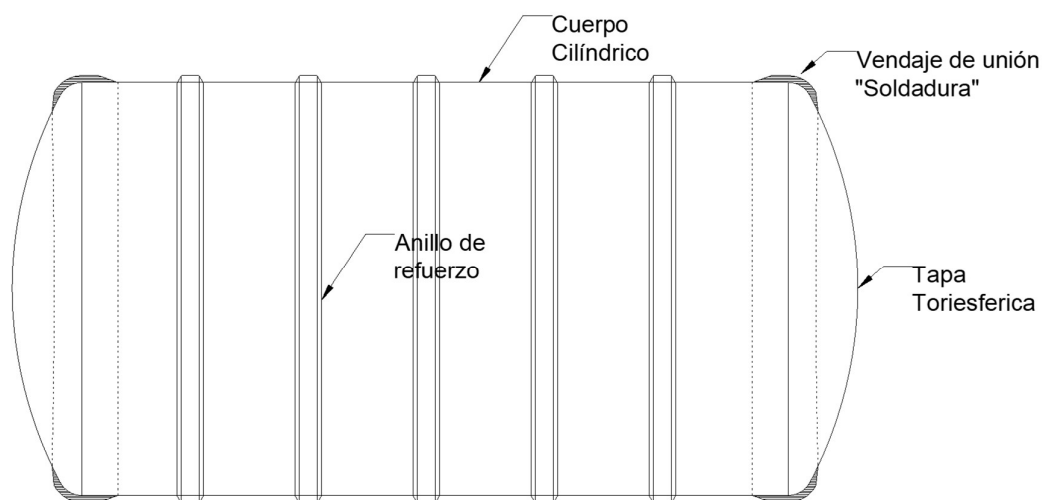


Figura 18. Configuración de tanque subterráneo en FRP

2.2.10.10 Boquillas bridadas en las paredes del tanque

Todos los tanques subterráneos de almacenamiento de hidrocarburos deberán estar equipados con boquillas de conexión, las que a continuación se mencionan son las mínimas requeridas que deberán estar instaladas en los tanques de almacenamiento:

- Entrada (s) de hombre.
- Venteo (s) o recuperador de vapores.
- Varillaje (s).
- Entrada (s) del hidrocarburo líquido.
- conexión para bomba.

Las conexiones al tanque serán a través de boquillas bridadas y pueden fabricarse mediante el método de laminación manual tipo II y de acuerdo a la figura 19 y la tabla 6 de la norma [2].

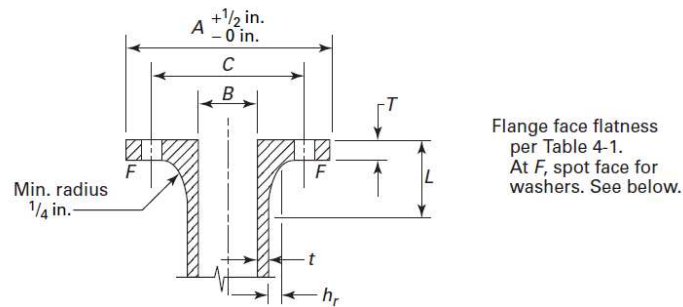


Figura 19. Bridas de cara plana [2]

Tabla 6: Dimensiones de boquilla bridada para pernos clase 150 [2]

Size B, in.	A, in.	C, in. [Notes (1)-(3)]	Min. T, Type I Laminates, in.	Min. T, Type II Laminates, in.	Min. Hub Reinforcement, h _r , in.	Min. t, in.	Min. L, in.	No. of Bolts	Bolt Hole Diameter, in.	Bolt Diameter, in.	ASME B18.21.1 Type A Narrow Washer Size (O.D.), in.	Bolt Torque, ft-lb
2	6	4 ³ / ₄	0.625	0.563	0.25	0.25	2 ⁵ / ₈	4	3/ ₄	5/ ₈	1 ⁵ / ₁₆	25
3	7 ¹ / ₂	6	0.625	0.563	0.283	0.25	2 ⁷ / ₈	4	3/ ₄	5/ ₈	1 ⁵ / ₁₆	25
4	9	7 ¹ / ₂	0.813	0.688	0.313	0.25	3 ¹ / ₄	8	3/ ₄	5/ ₈	1 ⁵ / ₁₆	25
6	11	9 ¹ / ₂	0.938	0.688	0.313	0.25	3 ¹³ / ₁₆	8	7/ ₈	3/ ₄	1 ¹ / ₂	25
8	13 ¹ / ₂	11 ³ / ₄	1.125	0.813	0.375	0.25	4 ³ / ₈	8	7/ ₈	3/ ₄	1 ¹ / ₂	25
10	16	14 ¹ / ₄	1.25	0.938	0.5	0.25	4 ³ / ₈	12	1	7/ ₈	1 ³ / ₄	25
12	19	17	1.438	1.063	0.625	0.25	4 ¹⁵ / ₁₆	12	1	7/ ₈	1 ³ / ₄	25
14	21	18 ³ / ₄	1.438	1.063	0.688	0.313	5	12	1 ¹ / ₈	1	2	30
16	23 ¹ / ₂	21 ¹ / ₄	1.563	1.188	0.813	0.313	5 ¹ / ₁₆	16	1 ¹ / ₈	1	2	30
18	25	22 ³ / ₄	1.625	1.25	0.75	0.375	5 ¹ / ₂	16	1 ¹ / ₄	1 ¹ / ₈	2 ¹ / ₄	35
20	27 ¹ / ₂	25	1.813	1.313	0.75	0.375	5 ³ / ₈	20	1 ¹ / ₄	1 ¹ / ₈	2 ¹ / ₄	35
24	32	29 ¹ / ₂	2.125	1.5	0.813	0.438	5 ³ / ₈	20	1 ³ / ₈	1 ¹ / ₄	2 ³ / ₈	40

La clasificación de todas las boquillas y bridas dadas en la tabla 9 son para 3.5 kg-f/cm². El grosor mínimo para todas las boquillas según la tabla 9 es de 6.35 mm (0.25 in). La boquilla debe extenderse 150 mm del desde el diámetro exterior de la pared del tanque hasta la cara de la brida de la boquilla o a menos que se especifique lo contrario para alguna boquilla bridada especial. Las boquillas de hasta 4 pulgadas necesariamente deben estar reforzados según la figura 20:

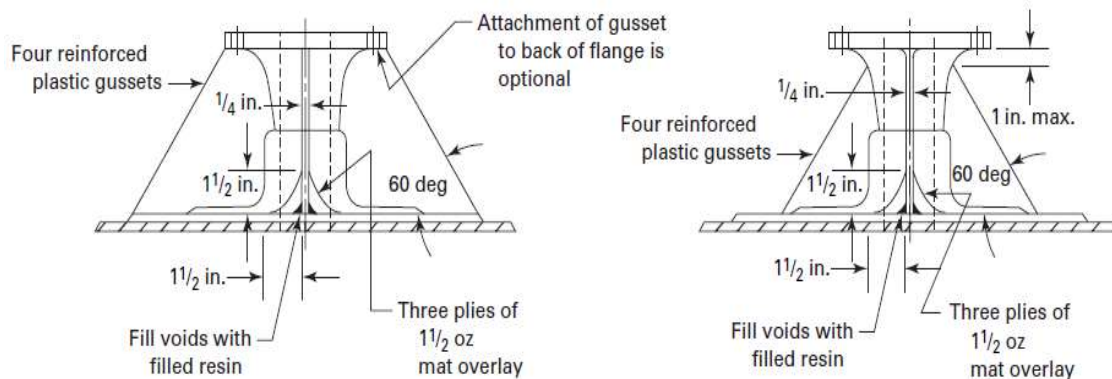


Figura 20. Refuerzo de boquillas

2.2.10.11 Selección de la resina y barrera química

Para la selección de la resina y barrera química se usarán las guías de resinas resistentes a la corrosión de AOC.

AOC es uno de los mayores fabricantes a nivel mundial de resinas termoestables para compuestos en plástico reforzado de fibra de vidrio. Sus resinas son recomendadas para las tuberías de agua, tanques subterráneos de almacenamiento de combustible y plantas de procesos químicos.

La guía de AOC, Señala que la resistencia de la resina a los ambientes químicos es determinada según la norma ASTM C581. Este ensayo de inmersión por lo general es más exigente que las condiciones reales y es aplicado a todos los productos químicos mencionados en la guía [3].

Para la selección adecuada del tipo de resina a utilizar es importante conocer la siguiente información:

- El nombre común y si fuera posible el nombre químico.
- La concentración de cada uno de los componentes químicos.
- El peso específico de la mezcla química o solución.
- El PH, si es un sistema acuoso.
- El rango normal de temperatura de operación
- La temperatura máxima de diseño (que es la temperatura máxima de uso).
- Los valores de presión o vacío. Para el caso de los tanques es importante saber si el llenado será por presión.
- Se debe indicar el uso en procesos alimenticios y farmacéuticos.
- El tiempo de exposición al agente.
- La descripción del proceso, cuando en el tanque se lleva a cabo una reacción, como la neutralización.
- Si es necesario contar con una protección ignífuga.

De lo antes expuesto hacemos un resumen de las características del hidrocarburo a usar y con esos datos entramos buscamos en la tabla de resistencia química de AOC y seleccionamos la resina ideal para el fluido.

Debido a que los tanques subterráneos están destinados para ser usados en las estaciones de servicio, es importante mencionar los combustibles usados en el parque automotor peruano.

Los combustibles según el portal web de PETROPERÚ [29] son:

- Gasohol. - El gasohol es la mezcla que contiene un 92.2% de volúmenes de gasolina de (84, 90, 95 o 97 octanos) y un 7.8% de volúmenes de alcohol carburante.

- Biodiesel. - El diésel B5 es un combustible constituido por una mezcla de diésel N° 2 y 5% en volumen de biodiesel (B100).

Ahora bien, la siguiente tabla 7 muestra las características de los hidrocarburos a ser almacenados en los tanques de combustible. La información es extraída del portal web de Petroperú [29].

Tabla 7: Selección de combustibles para el almacenamiento

Ítem	Clase de producto	Tipo de Producto	Nombre del producto	Peso específico	Contenido de alcohol carburante (%)	Temperatura de Diseño (°C)
1	Combustible	Gasolina base + 7.8% vol. Alcohol carburante	Gasohol 84 plus	0.73-0.76 (15.6°C)	7.8	Ambiente
2	Combustible	Gasolina base + 7.8% vol. Alcohol carburante	Gasohol 90 octanos	0.73-0.76 (15.6°C)	7.8	Ambiente
3	Combustible	Gasolina base + 7.8% vol. Alcohol carburante	Gasohol 95 octanos	0.73-0.76 (15.6°C)	7.8	Ambiente
4	Combustible	Gasolina base + 7.8% vol. Alcohol carburante	Gasohol 97 octanos	0.73-0.76 (15.6°C)	7.8	Ambiente
5	Combustible	Destilado Medio	Biodiesel	0.84-0.86 (15.6°C)	-	Ambiente

2.2.11 Instalación de tanques subterráneos

La instalación de tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio requiere de gran experiencia para asegurar su buen rendimiento a largo plazo y sobre todo para garantizar la seguridad de todos los individuos que participen en la instalación del tanque. Los tanques deben ser instalados conforme a todos los códigos y reglamentos internacionales y nacionales, así como las normas de seguridad y ambientales que sean aplicables.

En esto proyecto se hace mención de las instrucciones de Containment Solutions [28], para detallar los requerimientos mínimos para la instalación exitosa de un tanque de almacenamiento subterráneo en plástico reforzado con fibra de vidrio, los mismos que pueden ser utilizados para ser aplicados en las estaciones de servicio de venta de combustibles.

2.2.11.1 Material de relleno para la instalación

El relleno debe ser un material inerte, seco y debidamente granulado como son la grava o la roca triturada según se muestra en la figura 21:

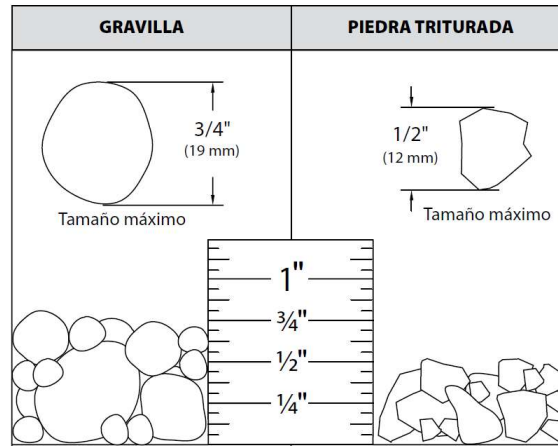


Figura 21. Tamaño de grava y roca triturada [28]

La gravilla debe estar compuesta de agregado limpio y redondeado con tamaños de partícula no mayores a $\frac{3}{4}$ ", no más del 5% y que pasen por un tamiz #8.

La densidad de la grava seca debe ser de un mínimo de 1520 kg/m^3 .

La piedra triturada debe ser lavada con tamaños angulares de partícula no mayores a $\frac{1}{2}$ ", no más del 5% y que pasa por un tamiz #8.

La densidad de la roca triturada seca debe ser de un mínimo de 1520 kg/m^3 .

2.2.11.2 Parámetros para la excavación

La profundidad mínima de la excavación se determina de acuerdo a la presencia o ausencia del nivel freático y el tráfico del área. Estas dimensiones son críticas para la instalación del tanque por lo que se encuentra normado por el estado peruano.

Según el reglamento nacional [5], si el nivel freático se encuentra a menos de cuatro metros del nivel del terreno, los tanques deben estar contenidos en un muro de concreto reforzado y con una superficie impermeabilizada. Y si el nivel freático se encuentra a cuatro metros o más de la superficie del terreno, no son necesarias la colocación de mencionadas estructuras.

La ubicación del tanque debe ser evaluada por ingenieros de cimientos profesionales para determinar el lugar adecuado. La ubicación del tanque puede afectar y verse afectado por construcciones o cimientos cercanos ya existentes por lo que se debe tener el mayor cuidado.

2.2.11.3 Tela geotextil

La tela de geotextil sirve como tela filtrante, esta permite el paso del agua, pero previene el paso del suelo original dentro del material del relleno. La migración puede comprometer el soporte y afectar la integridad que presta el relleno del tanque.

La instalación de la tela de geotextil debe colocarse en toda la excavación y esta debe apoyarse en la superficie del terreno en una distancia de por lo menos de 30.5 cm. (Ver figura 22).



Figura 22. Tela de filtro geotextil [30]

2.2.11.4 Profundidad de entierro y cubierta

El reglamento nacional [5], establece la altura mínima de enterramiento de 45 cm. Desde el borde superior del tanque hasta la superficie del suelo o pavimento.

Asimismo, indica que los tanques deben enterrarse para resistir las cargas exteriores a la cual se encuentren sometidos.

El manual de instrucciones [28], proporciona mayores alcances para la instalación de tanques en plástico reforzado de fibra de vidrio. El manual señala que en condiciones humeadas se necesita contrarrestar la flotabilidad añadiendo sobre carga y/o un sistema de anclajes.

Los tanques deben diseñarse de acuerdo a la profundidad de enterramiento. El manual [28], considera una altura máxima de 213 cm. Y una plataforma de tráfico que debe extenderse hasta un mínimo 30.5 cm. En todas las direcciones. Las excavaciones deben tener una cama de relleno de 45.7 cm a 61.0 cm desde el fondo de la excavación hasta el borde inferior del tanque para tierras húmedas. Y de 30.5 cm a 61.0 cm para rellenos secos. Como se muestra a continuación en la figura 23:

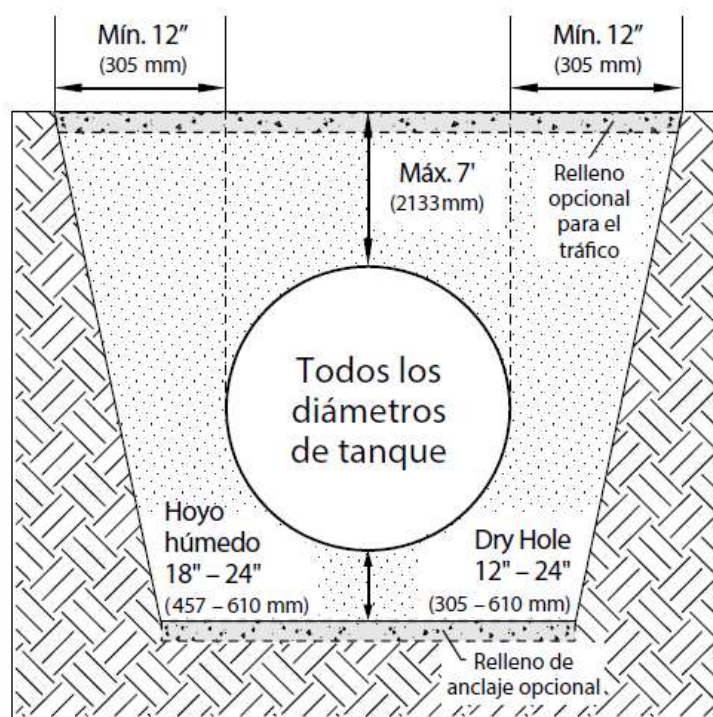


Figura 23. Profundidad de entierro y cubierta [28]

a) Profundidad mínima de enterramiento sin carga de tráfico

Los tanques de diámetros de 122 cm a 305 cm necesitan una cobertura mínima de 61 cm o 30.5 cm de relleno más 10.2 cm de concreto reforzado. Según la siguiente figura 24:

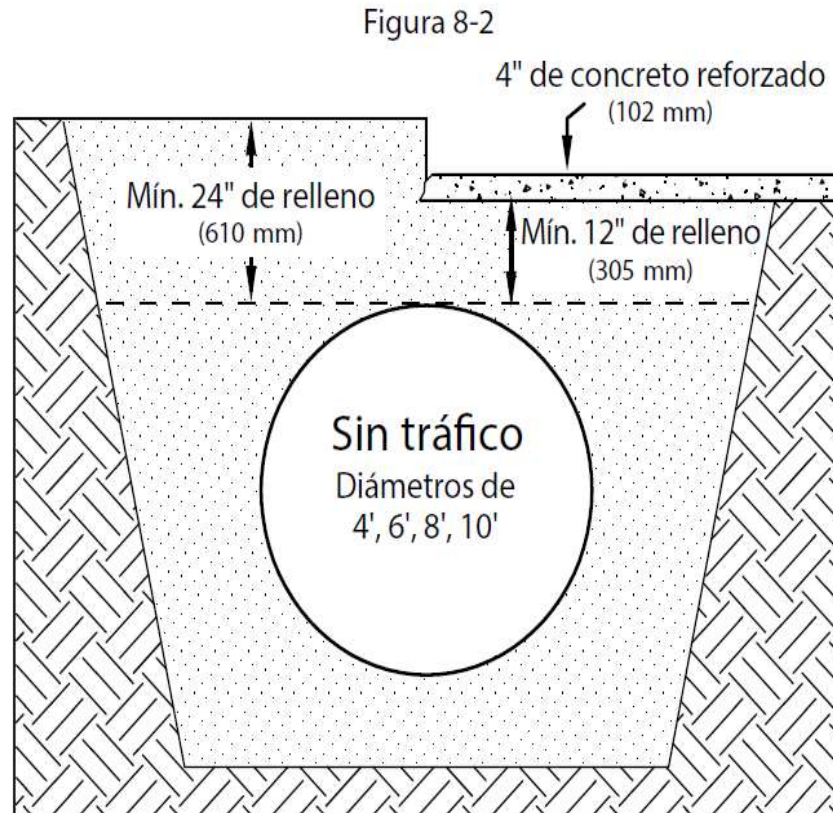


Figura 24. Profundidad mínima de enterramiento sin carga de tráfico [28]

b) Profundidad mínima de enterramiento con carga de tráfico

Se considera como profundidad mínima de entierro las cargas de tráfico de un camión HS20 con un peso de 14515 kg por eje.

Asimismo, la plataforma de concreto debe diseñarse para resistir esas cargas de tráfico.

Los tanques de diámetros de 122 cm a 305 cm necesitan una cobertura mínima de 91.4 cm o 45.7 cm de relleno más 15.2 cm de concreto reforzado. Según la siguiente figura 25:

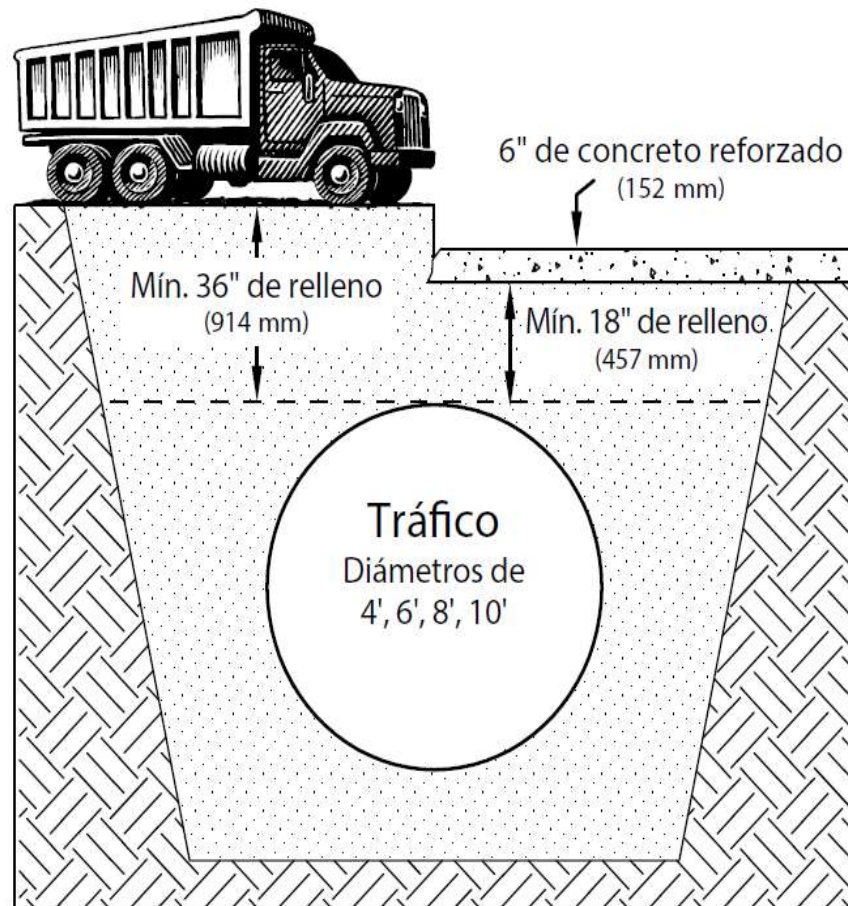


Figura 25. Profundidad mínima de enterramiento con carga de tráfico [28]

2.2.11.5 Anclaje

Usar un sistema de anclaje es indispensable para una correcta instalación de tanques enterrados de fibra de vidrio y de esta forma hacer frente a la capa freática, aguas atrapadas o inundaciones presentes en el sitio.

Los tres métodos comunes de anclajes son:

- Vigas de anclaje de concreto reforzado con puntos de anclaje
- Plataforma de anclaje de concreto reforzado con puntos de anclaje
- Sobrecarga (anclaje no mecánico)

Ver figura 26:

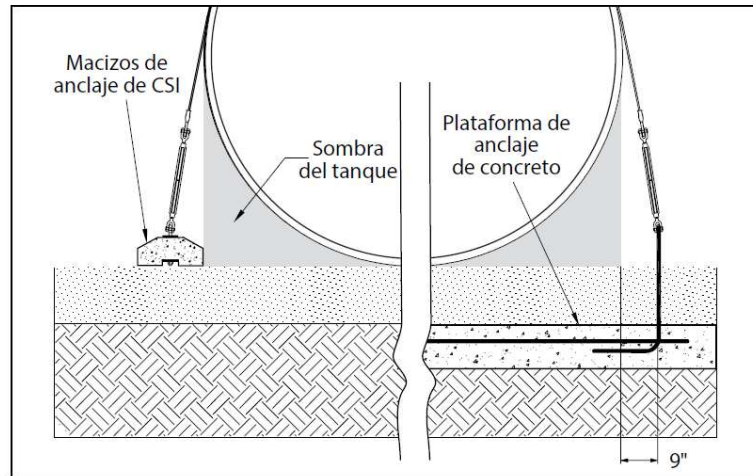


Figura 26. Métodos de anclaje mecánico [28]

2.2.12 Impacto Ambiental

La preocupación por el ambiente es un tema de urgencia hoy en día a nivel mundial, muchos estudios realizados a los suelos demuestran los cambios que ha provocado el hombre a través de sus acciones. Esto ha generado mucha preocupación y por consiguiente se ha desarrollado nuevas legislaciones ambientales en todos los niveles gubernamentales en el mundo [31] .

Según El Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles, Senace [32], el impacto ambiental es toda alteración o cambio positivo o negativo en las condiciones ambientales de un determinado lugar, generado como consecuencia de actividades o intervenciones humanas. Los impactos positivos y negativos deben ser identificados y detallados en todo estudio de impacto ambiental, con el objetivo de establecer medidas que ayuden a prevenir los impactos ambientales negativos y potenciar los impactos positivos.

En ese sentido, el almacenamiento y distribución de hidrocarburos líquidos en las estaciones de servicio implica varios impactos ambientales potenciales. A causa de que los hidrocarburos líquidos son volátiles e inflamables, se deben tomar precauciones para asegurar que los impactos sean minimizados. Además de los problemas ambientales,

existen riesgos para la salud y seguridad del público y personal en general ante una amenaza de incendio o explosión [31].

Los temas ambientales de importancia con las instalaciones de distribución de hidrocarburos líquidos son:

- Contaminación del suelo, aguas subterráneas y superficiales.
- Emisiones al aire.
- El manejo de desechos de las instalaciones.

La estrategia de manejo más efectiva para minimizar los impactos ambientales de cualquier estación de servicio consiste en establecer adecuadamente la ubicación y diseño de las instalaciones antes de su construcción con el fin de asegurar que los riesgos para el medio ambiente sean mínimos [31]. Muchos problemas asociados con fugas en los tanques y la consecuente contaminación del lugar están directamente relacionados con técnicas de instalación deficientes, o con el uso de equipos que no satisfacen el estándar requerido. Por lo tanto es vital que el diseño y la construcción de una instalación consideren todos los parámetros posibles y los problemas potenciales antes de su construcción.

2.2.13 Software para análisis por elementos finitos

En términos matemáticos, el análisis de elementos finitos (FEA), también conocido como el método de elementos finitos (FEM), Aplica una técnica numérica para describir fenómenos físicos en términos de ecuaciones diferenciales parciales. El análisis de elementos finitos se usa ampliamente en muchas disciplinas de ingeniería para resolver la mecánica estructural, la vibración, la transferencia de calor y otros problemas.

Su uso es esencial para predecir el comportamiento de los sistemas mecánicos y térmicos en sus condiciones de funcionamiento, para reducir el tiempo del ciclo de diseño y para mejorar el rendimiento general del sistema. Asimismo, con FEA se puede analizar modelos

de formas complejas en su entorno de carga operativa y predecir su comportamiento dentro de la precisión deseada [33].

Los pasos básicos para realizar un proceso FEA son los siguientes:

2.2.13.1 Representación geométrica

Crea las características geométricas del sistema a analizar almacenado en un CAD (Diseño asistido por computador).

2.2.13.2 Discretización de la geometría

Divide la geometría en entidades geométricas relativamente pequeñas y simples, llamadas elementos finitos. Este proceso de discretización es conocido mejor como formulación de malla. Esta malla está conformada por nodos que son elementos conectados entre sí. La discretización de los elementos de geometría se llama "finita" para enfatizar el hecho de que no son infinitamente pequeños, sino solo razonablemente pequeños en comparación con el tamaño general del modelo. El tipo de elemento y el número total de elementos utilizados en la malla afectan los resultados obtenidos de una simulación. Cuanto mayor es la densidad de la malla, más preciso serán los resultados. A medida que se incrementa la densidad de malla, el tiempo requerido de la computadora aumenta.

La solución obtenida del modelo numérico es generalmente una aproximación a la solución del problema físico que se simula. La figura 27, figura muestra el modelo CAD inicial y su posterior división en elementos más pequeños llamados nodos.

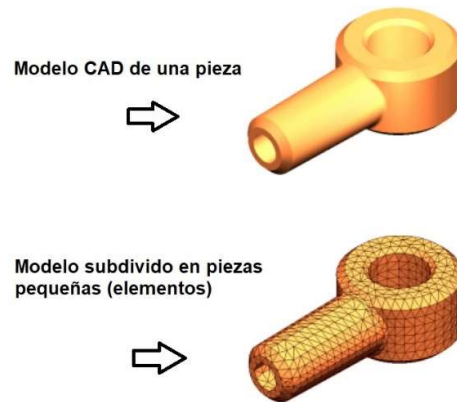


Figura 27. Discretización de geometría [34]

2.2.13.3 Formulación del elemento

Desarrolla las ecuaciones que describen el comportamiento de cada elemento. La elección del elemento apropiado es muy importante para la simulación del problema físico. Las bibliotecas de elementos incluyen elementos que son formas geométricas simples con una, dos o tres dimensiones.

Los elementos continuos o sólidos son apropiados para modelos 3D. Los elementos de la carcasa son adecuados para piezas delgadas con un grosor significativamente más pequeño que las otras dimensiones. Los elementos de viga son adecuados para estructuras miembros donde la longitud es significativamente mayor que las otras dos dimensiones.

En la siguiente figura 28 se ven la familia de elementos comunes usados.

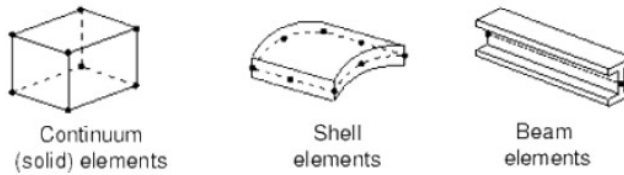


Figura 28. Familia de elementos comunes [33]

Es importante especificar las propiedades del material para todos los elementos, los datos precisos de estos son importantes para la validez del resultado de simulación.

La aplicación de cargas distorsiona la estructura física, por lo tanto, crean esfuerzos en ella. Las condiciones de contorno se usan para restringir partes del modelo para que permanezcan fijas. Ya sea para un desplazamiento cero o para que se muevan en una cantidad prescrita. Desplazamiento distinto de cero.

Las formas más comunes de carga incluyen:

- Cargas puntuales
- Cargas de presión en superficies
- Tracciones distribuidas en superficie
- Cargas de borde distribuidas y momentos en los bordes de la carcasa
- Fuerzas del cuerpo, como la fuerza de la gravedad
- cargas térmicas

2.2.13.4 Ensamble

Obtiene el conjunto de ecuaciones globales para todo el modelo a partir de las ecuaciones de elementos individuales. Las condiciones de carga y soporte (límite) se aplican a los nodos apropiados de la malla de elementos finitos.

2.2.13.5 Solución de ecuaciones

Proporciona la solución para los grados de libertad nodales desconocidos (o desplazamientos generalizados).

2.2.13.6 Postprocesamiento

Obtiene gráficos de visualización para cantidades de interés, como esfuerzos y deformaciones.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Una variable es una propiedad cuyo contenido puede variar y cuya variación es susceptible de medirse y observarse en forma directa o indirecta [35].

Las variables de la presente investigación son:

Variable dependiente (VD) = Diseño un tanque subterráneo.

Variables independientes (VI) = Parámetros y condiciones de diseño, Propiedades físicas, químicas, mecánicas y el dimensionamiento, comprobación en el software de simulación, presupuesto de fabricación, elaboración de planos.

3.1.1. Definición operacional de la variable

En la investigación se ha considerado como definición operacional de la variable lo siguiente (Ver tabla 8):

Tabla 8. Definición operacional

Variable dependiente (VD)	Variables independientes (VI)	Indicadores
Diseño un tanque subterráneo	Parámetros y condiciones de diseño	Profundidad de enterramiento Temperatura de operación Presión de operación Presión de prueba Densidad de diseño Parámetros de instalación
	Propiedades físicas, químicas, mecánicas y el dimensionamiento	Densidad Módulos de elasticidad Resistencia ultima Relación de Poison Resistencia química
	Comprobación en el software de simulación	Esfuerzos y deformaciones
	Presupuesto de fabricación	Cuadro de presupuesto
	Elaboración de planos	Plano de arreglo general Plano de detalle

3.2. Metodología

3.2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativo, debido a que “la recolección de los datos se fundamenta en la medición. Esta recolección se lleva a cabo al utilizar procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica” [35, p. 5].

3.2.2. Método de investigación

El método usado en esta investigación es el método analítico; este método nos permite conocer del objeto de estudio, con lo cual se puede: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías [36].

3.2.3. Nivel de investigación

El nivel usado en esta investigación es descriptivo, es decir “busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” [35, p. 92]. Es decir, se centran en medir con la mayor precisión posible. En este proyecto se describen una serie de especificaciones, propiedades, requerimientos y estándares que son requisitos para poder diseñar el tanque subterráneo.

3.2.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es de tipo no experimental. Según [35, p. 152], la investigación no experimental es cuando no se manipulan intencionalmente las variables pues estas se encuentran definidas.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

4.1. Consideraciones de diseño

El diseño estructural, la determinación de las cargas, las condiciones de diseño y operación del tanque subterráneo en plástico reforzado de fibra de vidrio para almacenamiento de hidrocarburos líquidos se realizará en base a los estándares indicados en la sección 2.1 específicamente:

- Estándar de seguridad UL-1316
- ASME RTP-1 2015
- AWWA M-45
- Decreto Supremo 054-1993-EM

4.2. Especificaciones técnicas del tanque

Las especificaciones para el diseño del tanque son extraídas del Decreto Supremo 054-1993-EM y complementadas con el estándar internacional UL-1316 como se muestra en la siguiente tabla 9:

4.3. Cargas de diseño

Las cargas consideradas para el diseño del tanque subterráneo son:

- El equipo será diseñado para resistir la presión interna según el requerimiento de la norma UL 1316 [6].

- El equipo debe ser diseñado para resistir las presiones externas, estas presiones incluyen a la carga muerta que es el peso vertical del suelo más la carga viva, que considera al peso de la rueda del camión más pesado que pueda pasar por la zona del tanque. La carga viva y la carga muerta son calculadas según la norma AWWA M45 [4].

Tabla 9: Condiciones y parámetros de diseño

Parámetro	Unidad	Requerimiento
Características del tanque		
Servicio	-	Tanque de almacenamiento
Instalación	-	Soterrada
Tipo	-	Horizontal
Material de construcción	-	Plástico reforzado con fibra de vidrio
Diámetro interior	mm	2200.0
Longitud interior	mm	6350.0
Volumen	Galones (m³)	6000.0 (23)
Tapa	-	Torresferica
Condiciones del diseño		
Profundidad de enterramiento (mínimo)	mm	1000.00
Fluido	-	Combustibles líquidos
Temperatura de servicio	°C	Ambiente
Presión de operación	-	Atmosférica
Prueba de presión interna (Requisito normal UL-1316)	kg-f/cm²	1.76
Presión de diseño externa (vacío)	kg-f/cm²	0.71
Densidad de diseño	kg/m³	860.00
Parámetros de instalación		
Material de relleno	-	Piedra triturada
Tamaño máximo de piedra	mm	12
Peso específico del relleno	kg/m³	1520

4.3.1. Cálculo de la carga muerta

Cálculo de la carga vertical del suelo, reemplazando en la ecuación (1):

Según las especificaciones tenemos:

$$\gamma_s : 1520 \text{ kg/m}^3$$

H : 1 m

$$W_C = \gamma_S H$$

$$W_C = (1520 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^3 (100 \text{ cm})$$

$$W_C = 0.15 \text{ kg-f/cm}^2$$

4.3.2. Cálculo de la carga viva

El cálculo de la carga viva en el tanque, reemplazando en la ecuación (2):

$$W_L = \frac{M_p P I_f}{L_1 L_2}$$

Datos:

$$M_p = 1.2$$

$$P = 9100 \text{ Kg}$$

Cálculo del factor de impacto, reemplazando en la ecuación (3).

Datos:

$$h = 1 \text{ m}$$

De donde obtenemos el factor de impacto de la ecuación 3:

$$I_f = 1 + 0.33 \left[\frac{(2.44 - h)}{2.44} \right] \geq 1.0$$

$$I_f = 1 + 0.33 \left[\frac{(2.44 - 1 \text{ m})}{2.44} \right] \geq 1.0$$

$$I_f = 1.19$$

Cálculo de L_1 , reemplazando en la ecuación (4).

Datos:

$$t_l = 0.25 \text{ m}$$

Categoría de Rigidez del suelo: SC1

Material de relleno: Piedra triturada

$$LLDF = 1.15$$

$$L_1 = t_l + LLDF(h)$$

$$L_1 = 0.25 \text{ m} + 1.5(1 \text{ m})$$

$$L_1 = 1.4 \text{ m}$$

Cálculo de h_{int} , reemplazando en la ecuación (5).

Datos:

$$t_w = 0.50 \text{ m}$$

$$h_{\text{int}} = \frac{(1.83 - t_w)}{\text{LLDF}}$$

$$h_{\text{int}} = \frac{(1.83 - 0.5 \text{ m})}{1.15}$$

$$h_{\text{int}} = 1.16 \text{ m}$$

Cálculo de L_2 , reemplazando en la ecuación (6) debido a que $h \leq h_{\text{int}}$.

Si $h \leq h_{\text{int}}$

$$L_2 = t_w + \text{LLDF}(h)$$

$$L_2 = 0.5 \text{ m} + 1.15 (1 \text{ m})$$

$$L_2 = 1.65 \text{ m}$$

Finalmente, habiendo determinado todas las variables que componen la ecuación para el cálculo de la carga viva obtenemos:

$$W_L = \frac{(1.2)(9100 \text{ kg})(1.19)}{(140 \text{ cm})(165 \text{ cm})}$$

$$W_L = 0.56 \text{ kg} - \text{f/cm}^2$$

4.3.3. Cálculo de las Cargas externas

Cálculo de las cargas externas que actúan sobre el tanque, reemplazando en la ecuación (8):

Datos:

$$W_C = 0.15 \text{ kg-f/cm}^2$$

$$W_L = 0.56 \text{ kg} - \text{f/cm}^2$$

Por lo tanto, la presión de vacío es:

$$P_v = W_C + W_L$$

$$P_v = 0.15 \frac{\text{kg} - f}{\text{cm}^2} + 0.56 \text{ kg} - f/\text{cm}^2$$

$$P_v = 0.71 \frac{\text{kg} - f}{\text{cm}^2}$$

4.3.4. Cálculo de la Densidad del laminado

Cálculo de la fracción de volumen de vidrio y densidad de la lámina compuesta, reemplazando en la ecuación (9) y (10) respectivamente.

Datos:

$$\rho_m = 1295.42 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_f = 2610.22 \text{ kg/m}^3$$

$$K_{\text{mat}} = 0.45 \text{ kg/m}^2$$

$$K_{\text{bid}} = 0.8 \text{ kg/m}^2$$

$$t_{\text{mat}} = 1 \text{ mm}$$

$$t_{\text{bid}} = 1 \text{ mm}$$

$$V_k = K/(t_k \rho_f)$$

$$D_k = V_k \rho_f + (1 - V_k) \rho_m$$

Los valores y las ecuaciones mencionadas son aplicados para cada capa e ingresados a la siguiente tabla 10 para una mejor representación:

Tabla 10: Fracción de volumen de vidrio y densidad

Capa	t (mm)	K (kg/m ²)	V _k	D _k (kg/m ³)	t x D _k (kg/m ²)
M	1	0.45	0.17	1518.94	1.52
T	1	0.8	0.31	1703.01	1.70
Total	2	-	-	-	3.22

La configuración mostrada en la tabla 7, permite determinar la densidad para laminados tipo II. Ahora bien, la densidad total se calcula de acuerdo a la ecuación 11:

$$D_T = \sum t \times D_k / t$$

Por lo tanto:

$$D_T = (3.22 \text{ kg/m}^2) / (0.002 \text{ m})$$

$$D_T = 1610 \text{ kg/m}^3$$

4.4. Cálculo de la presión interna

El cálculo de la presión interna, reemplazando en la ecuación (12).

Datos:

$$\rho : 860 \text{ kg/m}^3$$

H_{hid} : 2.2 m, El diámetro del tanque a su máxima capacidad.

Por lo tanto, la presión hidrostática en el tanque debido al peso del fluido será:

$$P_h = \rho H_{\text{hid}}$$

$$P_h = (860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^3 (220 \text{ cm})$$

$$P_h : 0.19 \text{ kg-f/cm}^2$$

Ahora bien, tenemos dos presiones internas que serán usadas para calcular los espesores mínimos del tanque subterráneo según la siguiente tabla 11:

Tabla 11: Factor de seguridad según criterio de diseño ASME RTP1

Descripción	Presión aplicada (kg-f/cm ²)	Factor de seguridad	Criterio ASME RTP 1
Presión hidrostática	0.19	10	Para cargas permanentes
Prueba de presión interna	1.76	5	Para cargas eventuales

4.4.1. Cálculo de espesor de pared cilíndrica

Cálculo del cilindro por presión interna, reemplazando en las ecuaciones (13) y (14).

Datos:

D : 220 cm

FS : 10

P_i : 0.19, kg-f/cm²

S_a : 1054.56 kg-f/cm²

S_h : 1054.56 kg-f/cm²

Los espesores por presión hidrostática son:

Carga circunferencial:

$$t_h = \frac{PD}{2S_h/F}$$
$$t_h = \frac{0.19 \text{ kg-f/cm}^2(220\text{cm})}{2(1054.56 \text{ kg-f/cm}^2)/10}$$
$$t_h = 0.20 \text{ cm}$$

Carga axial:

$$t_a = \frac{PD}{4S_a/F}$$
$$t_a = \frac{0.19\text{kg-f/cm}^2(220\text{cm})}{4(1054.56 \frac{\text{kg-f}}{\text{cm}^2})/10}$$
$$t_a = 0.10 \text{ cm}$$

Los espesores para prueba a presión interna son:

Carga circunferencial

$$t_h = \frac{1.76 \text{ kg-f/cm}^2(220\text{cm})}{2(1054.56 \text{ kg/cm}^2)/5}$$
$$t_h = 0.91 \text{ cm}$$

Carga axial

$$t_a = \frac{1.76 \text{ kg} - f/\text{cm}^2(220\text{cm})}{4(1054.56 \frac{\text{kg} - f}{\text{cm}^2})/5}$$

$$t_a = 0.45 \text{ cm}$$

El espesor del laminado debe ser el mayor calculado, en este caso la presión de prueba interna es superior a la hidrostática y da como resultado un espesor mayor de:

$$t_h = 0.91 \text{ cm}$$

4.4.2. Cálculo de la tapa toriesferica

El cálculo del espesor de la tapa toriesferica, reemplazando en la ecuación (15):

Datos:

$$P : 0.19 \text{ kg-f/cm}^2$$

$$R_c : 220 \text{ cm}$$

$$S_u : 1054.56 \text{ kg-f/cm}^2$$

$$FS : 5$$

$$t = \frac{0.885PR_c}{S_u/F}$$

Los espesores por presión hidrostática son:

$$t = \frac{0.885(0.19 \frac{\text{kg} - f}{\text{cm}^2})(220 \text{ cm})}{(1054.56 \text{ kg} - f/\text{cm}^2)/(10)}$$

$$t = 0.35 \text{ cm}$$

Los espesores para prueba a presión interna son:

$$t = \frac{0.885(1.76 \frac{\text{kg} - f}{\text{cm}^2})(220 \text{ cm})}{(1054.56 \text{ kg} - f/\text{cm}^2)/(5)}$$

$$t = 1.6 \text{ cm}$$

El espesor del laminado debe ser el mayor calculado, en este caso la presión de prueba interna es superior a la hidrostática y da como resultado un espesor de tapa mayor de:

$$t = 1.6 \text{ cm}$$

4.5. Diseño por presión externa

4.5.1. Cálculo de espesor de pared cilíndrica

Cálculo de la pared del cilindro, se sabe que:

$$D = 220 \text{ cm}$$

$$E_{af} = 70\,306.96 \text{ kg-f/cm}^2 \text{ (Para laminado tipo II según tabla 5)}$$

$$E_{at} = 10\,5460.4 \text{ kg-f/cm}^2 \text{ (Para laminado tipo II según tabla 5)}$$

$$E_{hf} = 70\,306.96 \text{ kg-f/cm}^2 \text{ (Para laminado tipo II según tabla 5)}$$

$$FS = 5$$

$$KD = 1.0$$

El laminado manual aplicado al presente diseño es del tipo II, para esta consideración la norma [2], establece omitir el cálculo de la relación de poisson ν_{ah} y ν_{ha} y solamente asignar un valor de 0. Esta configuración produce una reducción de aproximadamente el 5% y 1% en la presión admisible para el poisson en flexión y poisson en el plano respectivamente.

$$\nu_{ah} = \nu_{ha} = 0$$

Para definir las demás variables, vamos a asumir un espesor razonable "t" y una distancia entre anillos de refuerzo "L". Esto nos permitirá calcular la presión admisible y el valor del factor Z_p .

$$t = 1.8 \text{ cm}$$

$$L = 65 \text{ cm}$$

De donde resolvemos la ecuación (18) y reemplazamos las variables para hallar el factor Z_p .

$$Z_p = \frac{E_{hf}^{\frac{3}{2}} E_a^{\frac{1}{2}}}{E_{af}^2} (1 - \nu_{ah} \nu_{ha})^{1/2} \frac{L^2}{\left(\frac{D_0}{2}\right) t}$$
$$Z_p = \frac{(70306.96 \text{ kg-f/cm}^2)^{3/2} (105460.4 \text{ kg-f/cm}^2)^{1/2}}{(70306.96 \text{ kg-f/cm}^2)^2} \times \frac{65 \text{ cm}^2}{\left(\frac{223.6 \text{ cm}}{2}\right) (1.8 \text{ cm})}$$

$$Z_p = 26$$

El factor de reducción γ de la ecuación (11) es:

$$\gamma = 1 - 0.001Z_p$$

$$\gamma = 1 - 0.001(26)$$

$$\gamma = 0.974$$

Finalmente, la presión externa admisible calculada de la ecuación (10) es:

$$P_a = \frac{KD(0.853)\gamma E_{hf}^{3/4} E_{at}^{1/4} t^{5/2}}{(1 - \nu_{ah}\nu_{ha})^{3/4} L \left(\frac{D_o}{2}\right)^{3/2} FS}$$

$$P_a = \frac{(1)(0.853)(0.974)(70306.96 \text{ kg} - \text{f/cm}^2)^{3/4} (105460.4 \text{ kg} - \text{f/cm}^2)^{1/4} (1.8 \text{ cm})^{5/2}}{(65 \text{ cm}) \left(\frac{223.6 \text{ cm}}{2}\right)^{3/2} (5)}$$

$$P_a = 0.732 \text{ kg} - \text{f/cm}^2$$

Se verifica que:

$$P_a = 0.732 \text{ kg} - \text{f/cm}^2 > P_v = 0.710 \text{ kg} - \text{f/cm}^2$$

La presión externa admisible es superior a la presión de colapso por lo que los espesores y distancia entre anillos de refuerzo quedan definidos.

4.5.2. Cálculo de los anillos de refuerzo

Calculo de los anillos de refuerzo tipo media caña, Los siguientes enunciados son ecuaciones y cálculos para la figura (22):

Datos:

$$R = 7.6 \text{ cm}$$

$$t_s = 1.8 \text{ cm}$$

$$E_s = 70\,306.96 \text{ kg-f/cm}^2 \text{ (Para laminado tipo II según tabla 5)}$$

$$t = 1.8 \text{ cm}$$

$$E = 70\,306.96 \text{ kg-f/cm}^2 \text{ (Para laminado tipo II según tabla 5)}$$

$$D_h = 37\,761.72 \text{ kg*cm}$$

$$D_a = 37\,761.72 \text{ kg*cm}$$

$$v_{ha} = 0.3$$

$$v_{ah} = 0.3$$

$$L_s = 65 \text{ cm}$$

$$FS = 5$$

$$P_a = 0.71 \text{ kg-f/cm}^2$$

$$D = 220 \text{ cm}$$

Diámetro externo del tanque, reemplazando en la ecuación (19):

$$D_o = D + 2t$$

$$D_o = 220 + 2(1.8)$$

$$D_o = 223.6 \text{ cm}$$

La capa límite de flexión (BBL), reemplazando en la ecuación (20):

$$BBL = 0.527 \sqrt{\frac{D_o}{2}} (t) \sqrt{\left(\frac{1}{1 - v_{ah}v_{ha}}\right) \frac{D_a}{D_h}}$$

$$BBL = 0.527 \sqrt{\frac{223.6}{2}} (1.8) \sqrt{\left(\frac{1}{1 - 0.3 \times 0.3}\right) \frac{37\,761.72}{37\,761.72}}$$

$$BBL = 7.63 \text{ cm}$$

El ancho efectivo de la pared, reemplazando en la ecuación (21):

$$w_{es} = 2BBL + 4R$$

$$w_{es} = 2(7.63 \text{ cm}) + 4(7.6 \text{ cm})$$

$$w_{es} = 45.66 \text{ cm}$$

El radio exterior del anillo de refuerzo, reemplazando en la ecuación (22):

$$R_o = R + t_s$$

$$R_o = 7.6 \text{ cm} + 1.8 \text{ cm}$$

$$R_o = 9.4 \text{ cm}$$

El área de la pared del tanque, reemplazando en la ecuación (23):

$$A = w_{es} \times t$$

$$A = 45.8 \times 1.8$$

$$A = 82.44 \text{ cm}^2$$

El área de la acumulación de las capas de fibra para el anillo de refuerzo, reemplazando en la ecuación (24):

$$A_b = 2(R - t_s)t_s$$

$$A_b = 2(7.6 - 1.8)1.8$$

$$A_b = 20.88 \text{ cm}^2$$

El área de la media caña, reemplazando en la ecuación (25):

$$A_r = \frac{\pi}{2} \times (R_o^2 - R^2)$$

$$A_r = \frac{\pi}{2} \times (9.4^2 - 7.6^2)$$

$$A_r = 48.07 \text{ cm}^2$$

El área total, reemplazando en la ecuación (26):

$$A_t = A + A_b + A_r$$

$$A_t = 82.44 + 20.88 + 48.07$$

$$A_t = 151.39 \text{ cm}^2$$

Cálculo del módulo circunferencial efectivo de la pared del tanque y el anillo de refuerzo, reemplazando en la ecuación (27):

$$E_h = \frac{AE + A_b \times E_s + A_r \times E_s}{A_t}$$

$$E_h = \frac{(82.44)(70\,306.96) + (20.88)(70\,306.96) + 48.07 \times (70\,306.96)}{151.39}$$

$$E_h = 70\,306.96 \frac{\text{kg-f}}{\text{cm}^2}$$

Cálculo del momento de inercia requerido, reemplazando en la siguiente ecuación (28):

$$I_s = \frac{P_a L_s D_o^3 F S}{24 E_h}$$

$$I_s = \frac{(0.71)(65)(223.6)^3(5)}{24(70\,306.96)}$$

$$I_s = 1528.79 \text{ cm}^4$$

Cálculo del centro de gravedad de la pared relativo al diámetro exterior del tanque, reemplazando en la ecuación (29):

$$CG_w = \frac{-t}{2}$$

$$CG_w = \frac{-1.8}{2}$$

$$CG_w = -0.9 \text{ cm}$$

Cálculo del centro de gravedad de la acumulación de las capas de fibra de vidrio del anillo de refuerzo relativo al diámetro exterior del tanque, reemplazando en la ecuación (30):

$$CG_b = \frac{t_s}{2}$$

$$CG_b = \frac{1.8}{2}$$

$$CG_b = 0.9 \text{ cm}$$

Cálculo del centro de gravedad del anillo de refuerzo tipo media caña relativa al diámetro exterior del tanque, reemplazando en la ecuación (31):

$$CG_r = \frac{4}{3\pi} \times \frac{R_o^2 + R_o \times R + R^2}{R_o + R}$$

$$CG_r = \frac{4}{3\pi} \times \frac{9.4^2 + 9.4 \times 7.6 + 7.6^2}{9.4 + 7.6}$$

$$CG_r = 5.43 \text{ cm}$$

Cálculo del centro de gravedad efectivo relativo al diámetro exterior del tanque, reemplazando en la ecuación (32):

$$CG_e = \frac{CG_w \times A + CG_b \times A_b \times \frac{E_s}{E} + CG_r \times A_r \times \frac{E_s}{E}}{A + A_b \times \frac{E_s}{E} + A_r \times \frac{E_s}{E}}$$

$$CG_e = \frac{-0.9 \times 82.4 + 0.9 \times 20.9 \times \frac{70\,306.96}{70\,306.96} + 5.43 \times 47.5 \times \frac{70\,306.96}{70\,306.96}}{82.4 + 20.9 \times \frac{70\,306.96}{70\,306.96} + 47.5 \times \frac{70\,306.96}{70\,306.96}}$$

$$CG_e = -1.34 \text{ cm}$$

Cálculo del momento de inercia efectivo considerando los diferentes módulos del anillo de refuerzo y la pared del tanque, reemplazando en las ecuaciones (34) y (35) respectivamente:

$$I_1 = \frac{E_s}{E_h} \left[\frac{w_{es} \times t^3}{12} + \frac{2[(R - t_s) \times t_s^3]}{12} + \left(\frac{\pi}{8} \times (R_o^4 - R^4) - \frac{8}{9\pi} \times \frac{(R_o^3 - R^3)^2}{R_o^2 - R^2} \right) \right]$$

$$I_1 = \frac{70\,306.96}{70\,306.96} \left[\frac{45.8(1.8)^3}{12} + \frac{2[(7.6 - 1.8) \times (1.8)^3]}{12} + \left(\frac{\pi}{8} \times (9.4^4 - 7.6^4) - \frac{8}{9\pi} \times \frac{(9.4^3 - 7.6^3)^2}{9.4^2 - 7.6^2} \right) \right]$$

$$I_1 = 365.75 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = A(CG_e - CG_w)^2 \times \frac{E}{E_h} + A_b(CG_e - CG_b)^2 \times \frac{E_s}{E_h} + A_r(CG_r - CG_e)^2 \times \frac{E_s}{E_h}$$

$$I_2 = 82.4(1.33 - (-0.9))^2 \times \frac{70\,306.96}{70\,306.96} + 20.9(1.33 - 0.9)^2 \times \frac{70\,306.96}{70\,306.96} + 47.5(5.4 - 1.33)^2 \times \frac{70\,306.96}{70\,306.96}$$

$$I_2 = 1200.46 \text{ cm}^4$$

Y seguido podemos saber el momento de inercia efectivo, reemplazando en la ecuación (33):

$$I_e = I_1 + I_2$$

$$I_e = 365.75 \text{ cm}^4 + 1200.46 \text{ cm}^4$$

$$I_e = 1566.21 \text{ cm}^4$$

Finalmente se debe cumplir la siguiente expresión (36):

$$I_e > I_s$$

$$1566.21 \text{ cm}^4 > 1528.79 \text{ cm}^4$$

Ya que $I_e > I_s$ se cumple la condición.

4.5.3. Cálculo de la tapa toriesferica

Cálculo de espesor la tapa toriesferica bajo presión externa, reemplazando en la ecuación (37):

Datos:

$$R_o = 220 \text{ cm}$$

$$F = 5$$

$$P_a = 0.71 \text{ kg-f/cm}^2$$

$$E_f = 70306.96 \text{ kg-f/cm}^2$$

$$t_t = R_o \left(\frac{F P_a}{0.36 E_f} \right)^{0.5}$$

$$t_t = 220 \left(\frac{5 \times 0.71}{0.36 \times 70306.96} \right)^{0.5}$$

$$t_t = 2.6 \text{ cm}$$

4.6. Determinación de la soldaduras de unión de las partes del tanque

Según las especificaciones mencionadas en el marco teórico sección 2.2.10.9, la secuencia de laminado para el vendaje de unión del cilindro y las tapas será de acuerdo a la información que se muestra en la tabla 12:

Tabla 12: Configuración de vendaje de unión de cilindro con tapas

Ancho de Mat (cm)	M	31	33.5	36	38.5	41	43.5	46	48.5	51	53.5
Ancho de Roving (cm)	R	-	31	33.5	36	38.5	41	43.5	-	48.5	-
Grosor nominal											
Fracción	Laminado										
1.8	2(MTMTMTM)+MTMM	M	TM	TM	TM	TM	TM	TM	MM	TM	M
M = Una capa de Mat de 450 g/cm ²											
T = Una capa de Roving bidireccional de 800 g/cm ²											

Finalmente, en la figura 29, se muestra el detalle de vendaje de unión; considerando el ancho mínimo y el ancho máximo de la superposición de capas:

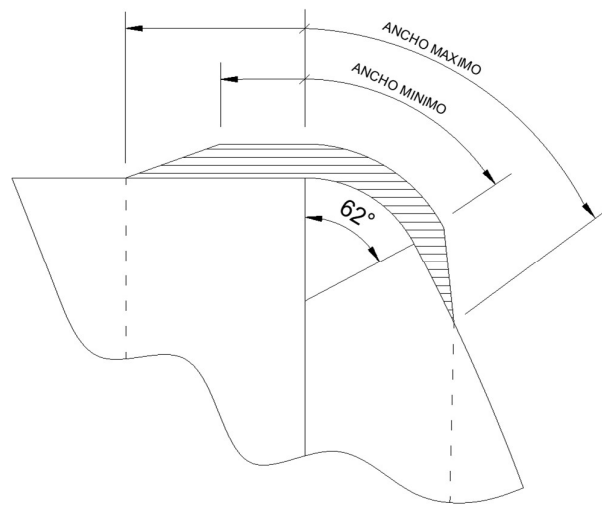


Figura 29. Detalle de vendaje de unión

4.7. Diseño de boquillas en las paredes del tanque

De acuerdo a lo especificado en el marco teórico sección 2.2.10.10 las boquillas esenciales en el tanque subterráneo son las siguientes:

- Entrada (s) de hombre.
- Venteo (s) o recuperador de vapores.
- Varillaje (s).
- Entrada (s) del hidrocarburo líquido.
- conexión para bomba.

Las conexiones al tanque serán a través de boquillas bridadas y pueden fabricarse mediante el método de laminación manual tipo II según la tabla 13 de la norma [2].

Tabla 13: Dimensiones de boquilla bridadas ASME B16.5

LISTA DE BRIDAS						
MARCA	DESCRIPCION	ESP. (mm)	PERFORACION	MATERIAL	CANT.	UNID.
1	BRIDA DESCARGA Ø6"	–	ASME B16.5 #150	FRP	1	pcs
2	BRIDA VENTEO Ø6"	–	ASME B16.5 #150	FRP	2	pcs
3	BRIDA DE VARILLAJE Ø6"	–	ASME B16.5 #150	FRP	24	pcs
4	MANHOLE DE ACCESO Ø24"	–	ASME B16.5 #150	FRP	48	pcs
5	BRIDA DE SERVICIO Ø6"	–	ASME B16.5 #150	FRP	48	pcs

4.8. Selección de la resina y barrera química

Para la selección de la resina y barrera química se usarán las guías de resinas resistentes a la corrosión de AOC.

En base a la tabla 7 se hace la búsqueda del combustible y se selecciona la barrera química y tipo de resina a emplear como se muestra a continuación en la tabla 14 y 15:

Tabla 14: Selección de combustible de gasolina [3]



CONCENTRACIONES Y TEMPERATURA MÁXIMA DE EXPOSICIÓN CONTINUA, EN GRADOS FAHRENHEIT

QUÍMICO	CONC., %	NOTAS	F010 F013 K022	F007 F015	F080	F083 K023	F085 F086 K095	F282	K190	F701 F707 F764 F774	F737	Cubierta y Ducto K733
			TEMPERATURA									
ÁCIDO FLUOSILÍCICO	10	2	150	150	150	180	180	150	180	80	NR	100
ÁCIDO FLUOSILÍCICO	25	2	100	100	100	100	100	100	100	NR	NR	90
ÁCIDO FLUOSILÍCICO	35	2	80		100	100	100	80	100	NR	NR	NR
FORMALDEHÍDO	50		120	120			150	120				NR
FORMAMIDA	100		80	120	100		150	120	100			NR
ÁCIDO FORMICO	30		120	120			150	120		NR	NR	
ÁCIDO FORMICO	50		120	120	120	120	120	100	100	NR	NR	90
ÁCIDO FORMICO	85		80	80			80					
ÁCIDO FORMICO	98		NR				NR	NR		NR	NR	
FREÓN 11	100		80				100	80				
ACEITE COMBUSTIBLE	100	11	180	210	200	200	210	90		90	NR	
FURFURAL EN AGUA	5		100	120	120	120	120	120	120		NR	90
FURFURAL	100		NR	NR	NR	NR	NR	NR		NR	NR	NR
ALCOHOL FURFURÍLICO	100		NR	NR			80			NR	NR	
ÁCIDO GÁLICO	ALL		180	180			180	180	180			
COMBUSTIBLE DE GASOLINA	100	10,11								120		

Tabla 15: Selección de combustible de Biodiesel [3]

Listado de productos químicos



CONCENTRACIONES Y TEMPERATURA MÁXIMA DE EXPOSICIÓN CONTINUA, EN GRADOS FAHRENHEIT

QUÍMICO	CONC., %	NOTAS	F010 F013 K022	F007 F015	F080	F083 K023	F085 F086 K095	F282	K190	F701 F707 F764 F774	F737	Cubierta y Ducto K733
			TEMPERATURA									
DICLOROTOLUENO	100		80	80	80	80	120	80				
COMBUSTIBLE DIESEL SIN AROMÁTICOS NI METANOL	100		180	190	200	200	200	200	175	175	120	100
COMBUSTIBLE DIESEL CON AROMÁTICOS Y METANOL	100	11						90		90	NR	
DIETANOL AMINA	100		120	120	120	120	150	120	110			90
DIETILAMINA	ALL		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
DIETILANILINA N,N	100		NR	NR	NR	NR	80	80				NR
DIETIL BENCENO	100		80	120	80	80	150	NR	100	NR	NR	
DIETIL CARBONATO	100		NR	80			100	NR			NR	
DIETILÉTER	100		NR	NR	NR	NR	NR	NR		NR	NR	
DIETIL FORMAMIDA	100		NR	NR	NR	NR	100	NR	NR	NR	NR	NR
DIETIL CETONA	100		NR	NR	NR		80	NR		NR	NR	NR
DIETIL MALEATO	100		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
DIETIL FTALATO	100	11	140	140			180	140	140	100	80	100
DIETIL SULFATO	100		100	120	100	100	120	100	100			
DIETILÉNGLICOL	100		180	210	210	210	210	210	250	180	80	180
DIETILÉNGLICOL DIMETIL ÉTER	100		NR				80	NR				NR

De acuerdo a la recomendación de AOC podemos usar una de los cuatro tipos de resina; F701, F707 F764 y F774. De estas resinas mencionadas vamos a escoger la Resina F774 debido a que está reconocida por los laboratorios UL (Underwrites laboratories) por cumplir con los requisitos de UL 1316 y UL 1746 parte I y parte III.

Asimismo, la resina F774 se desarrolló para cumplir con los exigentes requisitos de los tanques subterráneos de almacenamiento de petróleo que contienen combustibles [3].

Para la selección de la Barrera química y en vista que no hay una observación referente a la misma en la sección de notas vamos a considerar una Barrera química compuesta por un velo de carbono el cual vuelve conductivo toda la superficie que estará en contacto con el combustible con el fin de mitigar las cargas estáticas y seguido se colocara dos capas de fibras de mat 450 g/m².

4.9. Determinación de los impactos ambientales

- **Circunstancias de empleo.-** Es un potencial productor de empleo.
- **Desechos líquidos.-** El derrame de combustible en Estaciones de Servicios constituye un impacto negativo potencial si no se toman las medidas adecuadas para atenuarlas.
- **Contaminación por filtración.-** La mayor contribución a la contaminación del subsuelo se origina en las fugas que se producen en los tanques de almacenamiento subterráneo. Hasta hace poco estos tanques eran fabricados de acero sin protección y eran susceptibles a la corrosión [16].
- **Toxicología en relación de los seres humanos.-** El personal que trabaja en las Estaciones de Servicios se encuentra expuesto a las sustancias en que se manejan debido al permanente manipuleo de hidrocarburos, aceites y lubricantes. El principal impacto que causa esta actividad es la producción de fuerte olores en forma constante.

- **Alteración del paisaje.-** La construcción de estaciones de servicio puede ser considerado un impacto positivo debido a que se efectúan cumpliendo las normas estéticas y de construcción, mejorando así el aspecto visual de la zona.
- **Riesgo de accidentes.-** Los riesgos que existen en el manipuleo de los hidrocarburos inflamables pueden desencadenar en una explosión. Estos son mitigados con adecuados procedimientos de operación e instalación.

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS

5.1. Simulación del tanque subterráneo

Como parte del diseño estructural del tanque subterráneo vamos a verificar los cálculos obtenidos por solución analítica en el capítulo 3, haciendo uso del método por elementos finitos (FEM) con las herramientas de simulación de Solidworks.

La verificación incluye un análisis estático y por pandeo considerando las propiedades del material, las cargas de diseño y la geometría del equipo.

5.2. Secuencia de laminado

En la tabla 16, se muestra la secuencia de laminado y espesores calculados por fórmulas, para cada parte del tanque subterráneo y en la figura 30, cada secuencia de laminado es identificada.

Donde:

- V = Velo de superficie de 30 g/m² - 0.25 mm
- M = Fibra mat 450 g/m² - 1.00 mm
- T = Fibra bidireccional 800 g/m² - 1.00 mm

Tabla 16. Secuencia de laminado de tanque

Parte	Marca	Espesor (mm)	Secuencia
Cilindro	CL	18	VMM + MTM + MTMTM + MTMTM + MTM
Tapa	TA	26	VMM +MTM + MTMTM + MTMTM + MTMTM + MTMTMM
Anillo de refuerzo	AN	18	VMM + MTM + MTMTM + MTMTM + MTM

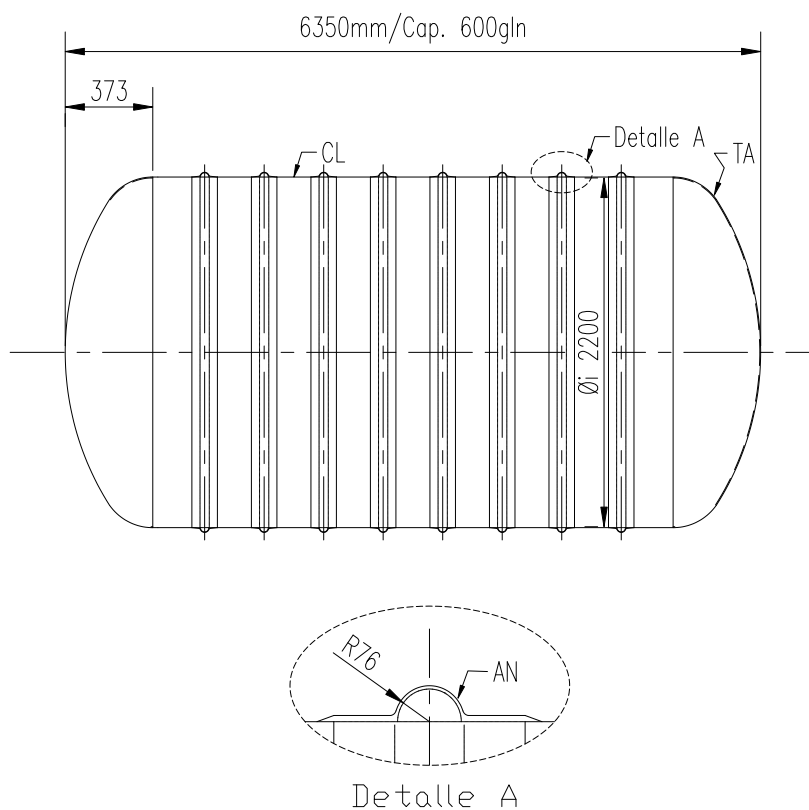


Figura 30. Composición y detalles de tanque subterráneo

5.3. Modelo FEM

5.3.1. Modelo CAD

Las dimensiones y especificaciones son de acuerdo a la tabla 2. El modelo CAD se basa en una geometría simplificada. Se omitieron detalles de agujeros de boquillas debido a que

son irrelevantes si agregan refuerzos apropiados. A continuación, se muestra en la figura 31 el modelo CAD del tanque subterráneo:



Figura 31. Modelo CAD de Tanque subterráneo [34]

5.3.2. Condiciones de contorno

- a) Pandeo. - Para el análisis por pandeo se debe de convertir el modelo normal en modelo de simulación, donde se considera la tapa y el cilindro como piezas independientes, con la finalidad de que sus bordes sean considerados como condiciones de contorno. Los bordes del modelo tendrán la restricción de desplazamiento en los ejes X, Y y Z como se muestran en las siguientes figuras 32 y 33:

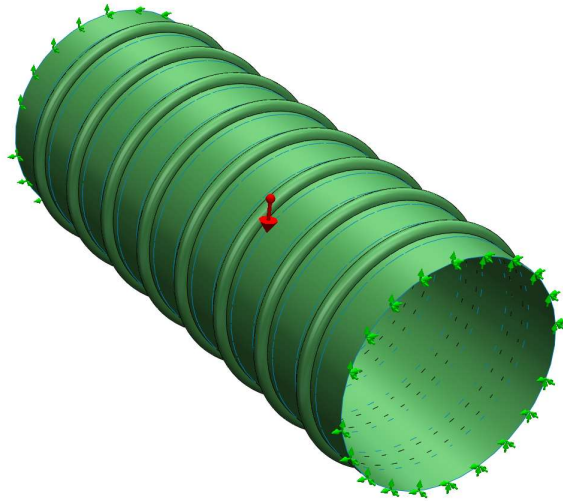


Figura 32. Condiciones de borde en cilindro [34]

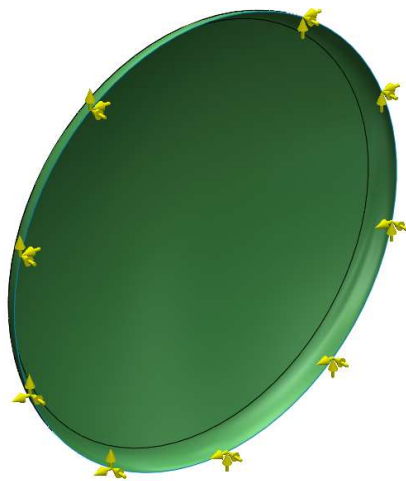


Figura 33. Condiciones de borde en tapa toriesferica [34]

- b) Análisis estático. - Para las restricciones en este modelo se puede analizar un cuarto del tanque en lugar del modelo completo, aplicando una restricción simetría a las aristas de vaciado. Resulta apropiado usar la simetría para obtener resultados más precisos. Las restricciones son; traslación cero, rotación radial cero y rotación axial cero. A continuación, la representación en la figura 34:

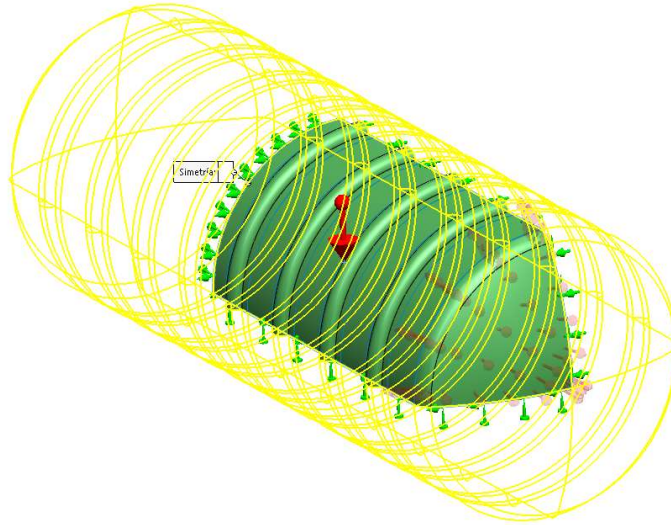


Figura 34. Restricción de simetría para el estanque [34]

5.3.3. Tipo de malla

Para la aproximación de la geometría real de la estructura, el mallado seleccionado para el modelo es, malla de vaciado. Este mallado con elementos pequeños mejora la calidad del mismo y produce resultados más precisos. Las siguientes figuras 35, 36 y 37 muestran la calidad del mallado:

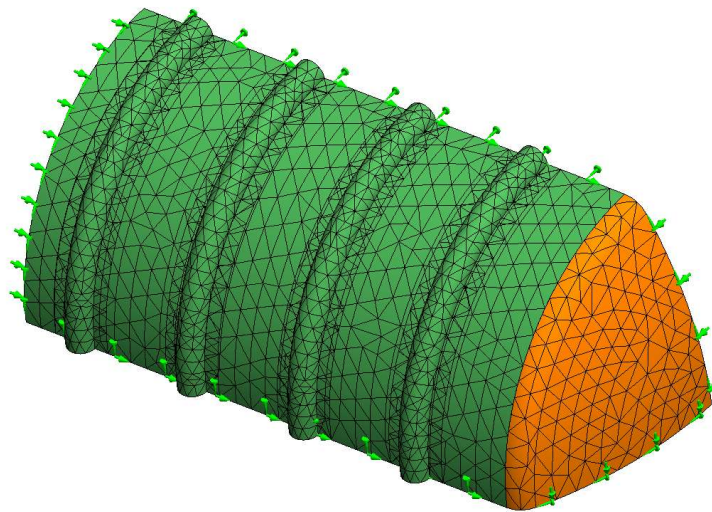


Figura 35. Malla de vaciado para análisis estático [34]

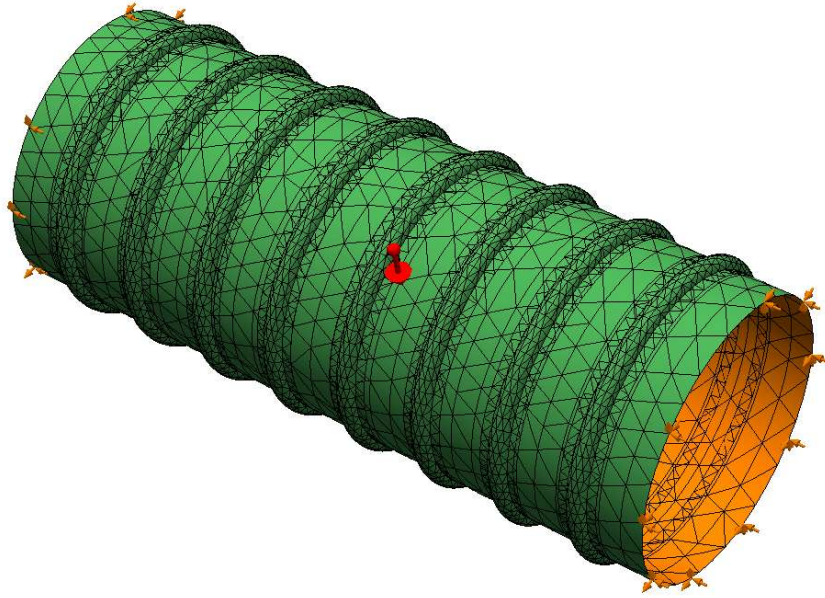


Figura 36. Malla de vaciado para evaluación por pandeo [34]

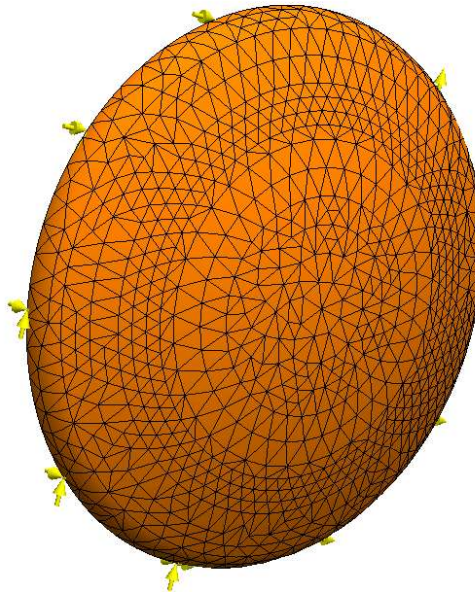


Figura 37. Malla de vaciado para evaluación por pandeo [34]

5.3.4. Resumen de las propiedades físicas y mecánicas laminados

Las siguientes propiedades se introdujeron en la biblioteca de materiales de Solidworks.

(Ver tabla 17)

Tabla 17: Propiedades de laminado

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Densidad	1 610.00	Kg/m ³
Módulo de tracción	105 460.4	kg-f/cm ²
Módulo de flexión	70 306.96	kg-f/cm ²
Resistencia ultima a la tracción	1 054.60	kg-f/cm ²
Resistencia ultima a la flexión	1 546.75	kg-f/cm ²
Poisson axial	0.3	-
Poisson circunferencial	0.3	-

5.4. Cargas aplicadas

La combinación de cargas consideradas para el análisis es la siguiente:

- a) Análisis estático. - para este análisis se considera el caso más crítico que es el peso propio del equipo más la presión interna de prueba con un valor de 1.76 kg-f/cm².
- b) Pandeo. - para este análisis se considera el peso propio del equipo más la presión externa calculada de 0.71 kg-f/cm² (presión de vacío).

5.5. Simulación de resultados

El criterio de falla usado para el análisis FEM es de esfuerzo normal máximo. Este criterio es aplicado a materiales frágiles como el plástico reforzado con fibra de vidrio [37]. Esta teoría define que la falla se produce cuando el esfuerzo normal máximo en el componente alcanza la resistencia última obtenida de una prueba de tensión de una probeta del mismo material.

A continuación, se muestran los resultados evaluados por el software de elementos finitos [34]:

5.5.1. Caso A: Peso del equipo + Presión de prueba

La figura 38 muestra los resultados de acuerdo a la siguiente tabla 18:

Tabla 18: Resultado de esfuerzo normal máximo bajo presión interna

Marca	Descripción	Valor	Referencia	Condición
FS	Factor de diseño mínimo	5	ASME RTP-1	Se verifica que $FDS \geq FS$
FDS	Factor de diseño según análisis	5.2	Según FEM software	

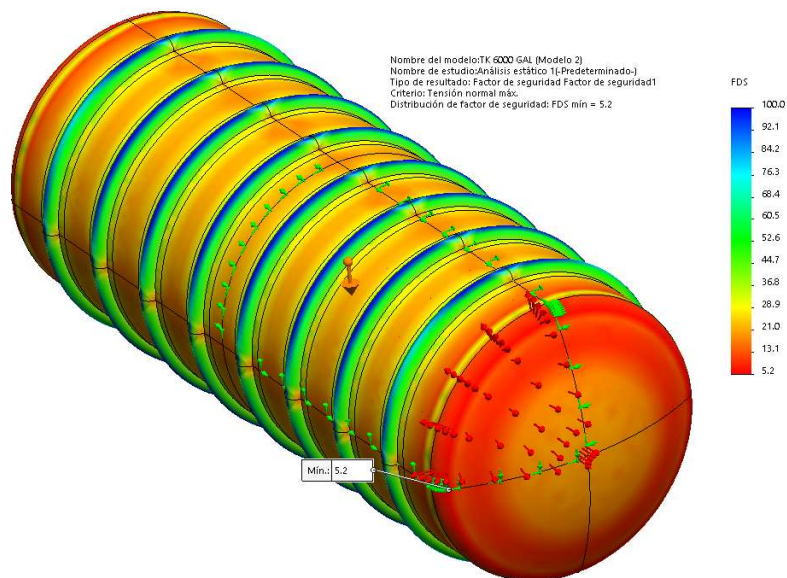


Figura 38. Esfuerzo normal máximo bajo presión interna [34]

La figura 39, muestra los resultados de acuerdo a la siguiente tabla 19:

Tabla 19: Resultado de desplazamiento bajo presión interna

Marca	Descripción	Valor	Referencia	Condición
Y máx.	Máxima deflexión	11 mm	ASME RTP-1	Se verifica que $Y \leq Y \text{ máx.}$
Y	Deflexión en tapa	4.1 mm	Según FEM software	

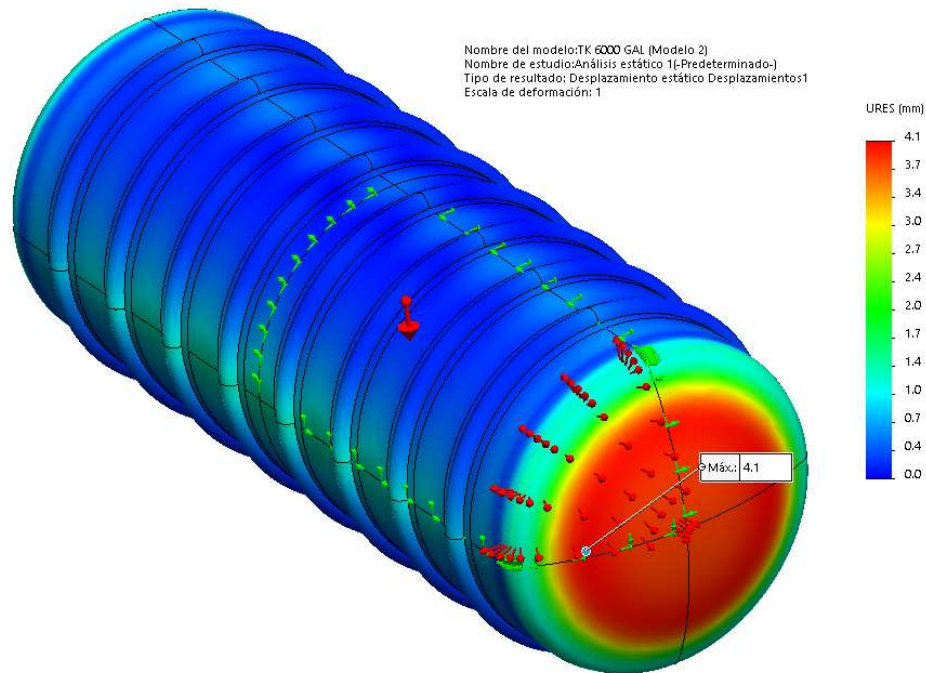


Figura 39. Desplazamiento bajo presión interna [34]

La figura 40, muestra los resultados de acuerdo a la siguiente tabla 20:

Tabla 20: Resultado de esfuerzo principal bajo presión interna

Marca	Descripción	Valor	Referencia	Condición
σ	Esfuerzo admisible	210.92 kg-f/cm ²	ASME RTP-1	Se verifica que $P1 \leq \sigma$
P1	Deflexión en tapa	119.5 Kg-f/cm ²	Según FEM software	

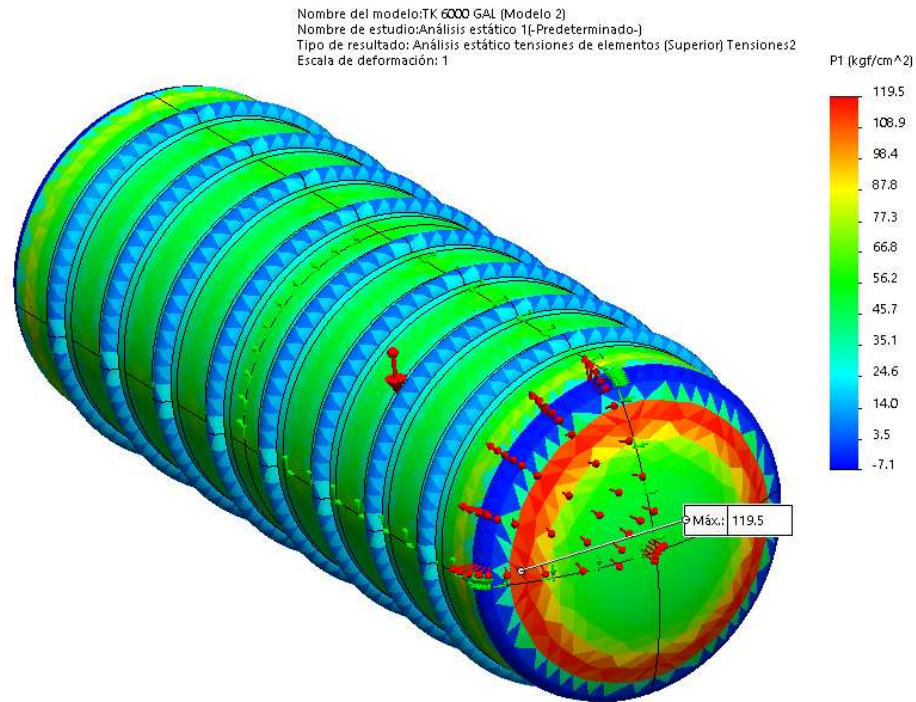


Figura 40. Esfuerzo principal bajo presión interna [34]

5.5.2. Caso B: Peso del equipo + Presión externa (vacío)

La figura 41, muestra los resultados de acuerdo a la siguiente tabla 21:

Tabla 21: Resultado de pandeo bajo presión interna en cilindro

Marca	Descripción	Valor	Referencia	Condición
FS	Factor de seguridad al pandeo	5	ASME RTP-1	Se verifica que $FC \geq FS$
FC	Factor de carga	8.69	Según FEM software	

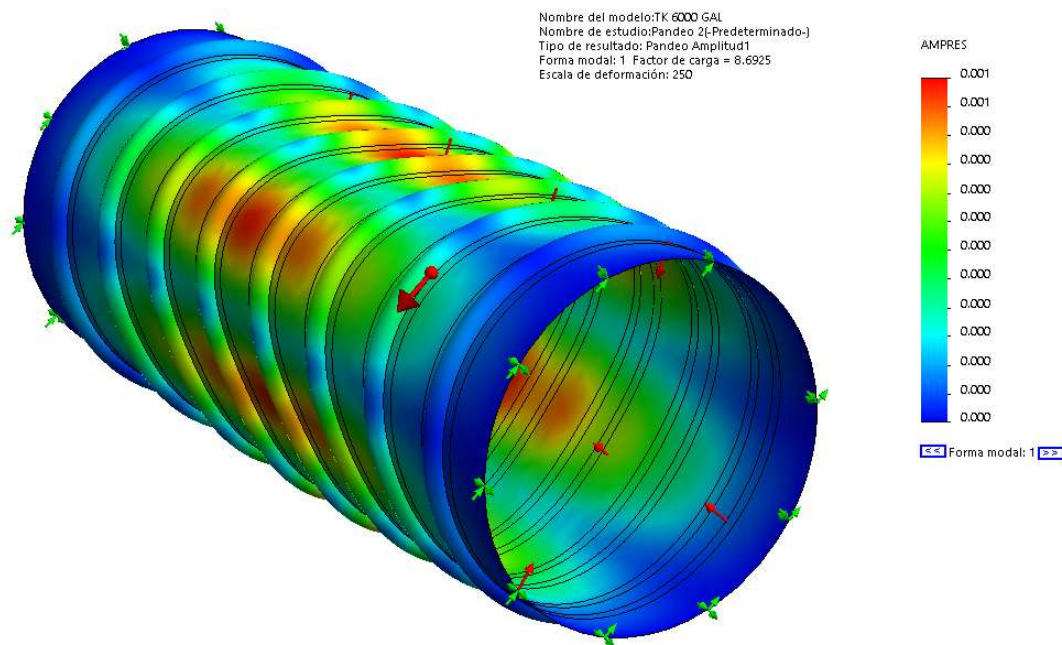


Figura 41. Pandeo en cilindro bajo presión externa [34]

La figura 42, muestra los resultados de acuerdo a la tabla 22:

Tabla 22: Resultado de pandeo en tapa toriesferica bajo presión externa

Marca	Descripción	Valor	Referencia	Condición
FS	Factor de seguridad al pandeo	5	ASME RTP-1	Se verifica que $FC \geq FS$
FC	Factor de carga	12.29	Según FEM software	

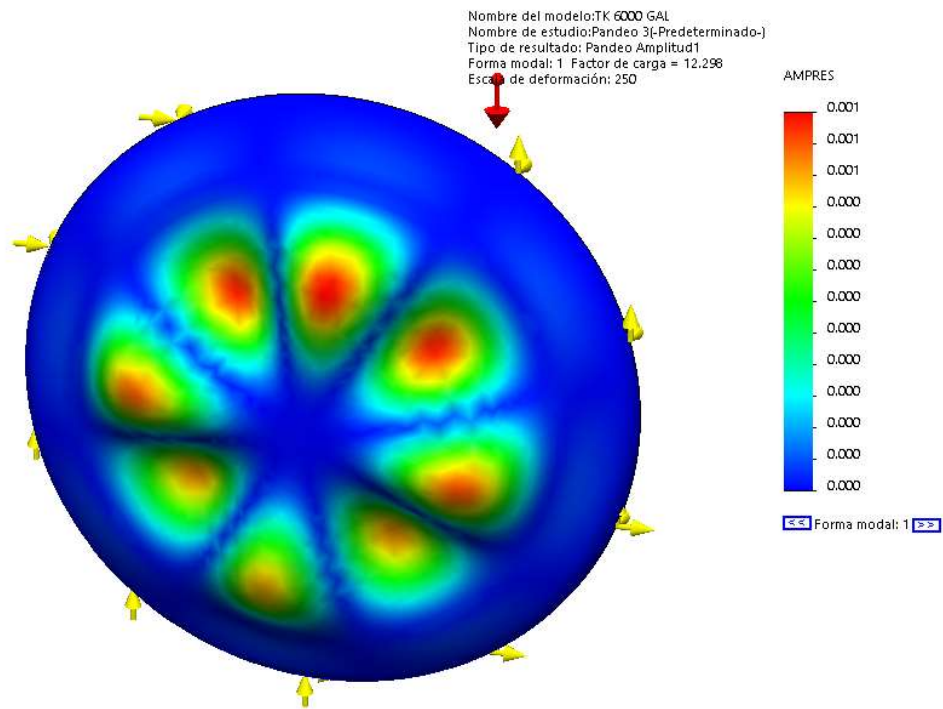


Figura 42. Pandeo en tapa toriesferica bajo presión externa [34]

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Como parte del diseño del tanque es importante contar con el precio de venta de este equipo, para que en conjunto con sus ventajas debido al material sean competitivos en precios frente a otros materiales alternativos. Para llegar a ello se debe determinar todos los costos que involucran en su fabricación haciendo un análisis de costos directos e indirectos. Finalmente se podrá realizar un cuadro comparativo frente a equipos con las mismas configuraciones, pero hechos en acero A36 y acero inoxidable 316.

6.1. Metrado de estanque

Debido a que la fabricación del equipo se realiza por moldeo manual y que en ese proceso involucra combinar las fibras y embeberlas con la resina capa tras capa es importante saber el porcentaje de fibra resina usado en la mezcla, para determinar los pesos de las materias primas.

El contenido en vidrio en los laminados contruidos con fibras mat y telas bidireccionales puede ser supuesto o asumido igual a 40%. Con ese porcentaje y la densidad del compuesto total de 1610 kg/m³ podemos calcular los pesos por separado. La tabla 23, muestra el metrado del tanque subterráneo:

Tabla 23: Metrado de tanque subterráneo

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VOLUMEN (m³)	PESO FIBRA (40% × D _T) (kg)	PESO RESINA (60% × D _T) (kg)
1	Cilindro de: Ø2.2 m x 5.6 m x 0.018 m esp.	1	0.69	448.66	672.99
2	Tapa toriesferica Ø2.2 m x 0.026 m esp.	2	0.14	90.16	135.24
3	Nervaduras Ø2.2 m x 0.045 m ancho	8	0.45	289.8	434.7
4	Boquillas	5	0.03	19.32	28.98

6.2. Análisis de costos directos

En el análisis de costos directos vamos a detallar todos los recursos que se incorporan físicamente al producto final como son; las materias primas, los costos de accesorios que conforman parte del estanque, la mano de obra para la elaboración del producto y la ingeniería que emite el reporte de cálculo y los planos de fabricación. (Ver tabla 24).

6.3. Análisis de costos indirectos

Recursos que participan en el proceso productivo, pero no son incorporados físicamente al producto final, entre ellos tenemos a los materiales indirectos y la mano de obra indirecta. (Ver tabla 25).

Tabla 24: Costos directos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	MATERIAL	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
MATERIAS PRIMAS						
1	Resina F774	1271.91	kg	Resina	5.00	6359.55
2	Velo de superficie de 30 g/m²	5	kg	Fibra	15.00	75.00
3	Fibra mat 450 g/m²	414.31	kg	Fibra	2.50	1035.77
4	Fibra bidireccional 800 g/m²	414.31	kg	Fibra	2.50	1035.77
5	Aditivos (5% peso de resina)	63.59	kg	Aditivos	4.90	311.59
					SUBTOTAL (USD)	8817.68

COSTOS DE ACCESORIOS						
6	Empaquetaduras para boquillas	5	Pieza	Nitrilo	20	100.00
7	Pernos de boquillas	40	Pieza	Grado 5	1.5	60.00
8	Orejas de izaje	4	Pieza	A36	30	150.00
9	Fajas de sujeción	4	pieza	Galvanizado	35	140.00
					SUBTOTAL (USD)	450.00
MANO DE OBRA						
10	Matrices de tapas y cilindro	80	hora	-	4	320.00
11	Fabricación por laminado manual de tapas y cilindro	220	hora	-	4	880.00
12	Maniobras y armado	60	hora	-	4	240.00
13	Acabado y despacho	50	hora	-	4	200.00
14	Pruebas no destructivas	40	hora	-	4	160.00
					SUBTOTAL (USD)	1800.00
					SUBTOTAL (USD)	11067.68

Tabla 25: Costos indirectos

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	MATERIAL	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
MATERIALES INDIRECTOS						
1	Rodillos de felpa	30	Pieza	Felpa	2.50	75.00
2	Rodillos metálicos	5	Pieza	SS316	10.00	50.00
3	Lijas	25	Pieza	-	2.00	50.00
4	thinner	10	Galón	-	5.00	50.00
5	Trapo industrial	30	kg	Algodón	3.00	90.00
					SUBTOTAL (USD)	315.00
INGENIERIA						
6	Ingeniero de diseño	60	hora	-	8.00	480.00
7	Dibujante	60	hora	-	6.00	360.00
					SUBTOTAL (USD)	840.00

OTROS						
8	Mantenimiento de la Instalación	1	-	-	300.00	300.00
9	Equipos de protección personal (x 6 personas)	6	Paquete	-	15.00	90.00
10	Servicios básicos	1	-		200.00	200.00
					SUBTOTAL (USD)	590.00
					SUBTOTAL (USD)	1745.00

6.4. Costo total del tanque subterráneo

La siguiente tabla 26 muestra la inversión para la fabricación de un tanque subterráneo en FRP:

Tabla 26: Costo total del equipo

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL (USD)
1	Costos directos totales	11067.68
2	Costos indirectos totales	1785.00
	TOTAL (USD)	12852.68

6.5. Comparación de tanque en FRP con otros materiales

Para fines comparativos se muestra una tabla con los precios de los equipos fabricados en: FRP, A36 y SS316 y una tabla comparativa de las ventajas del FRP frente al Acero.

Al costo total del tanque en FRP se ha incluido un margen de ganancia amigable del 15% para tener una comparación real frente a los demás materiales. La siguiente tabla 27 muestra el detalle:

Tabla 27: Comparación del FRP con otros materiales

Equipo fabricado en:	Precio de venta (USD)
Tanque en FRP	14780.58
Tanque en A36	11824.00
Tanque en SS316	39156.00

Seguido se presenta un histograma comparativo (ver figura 42):

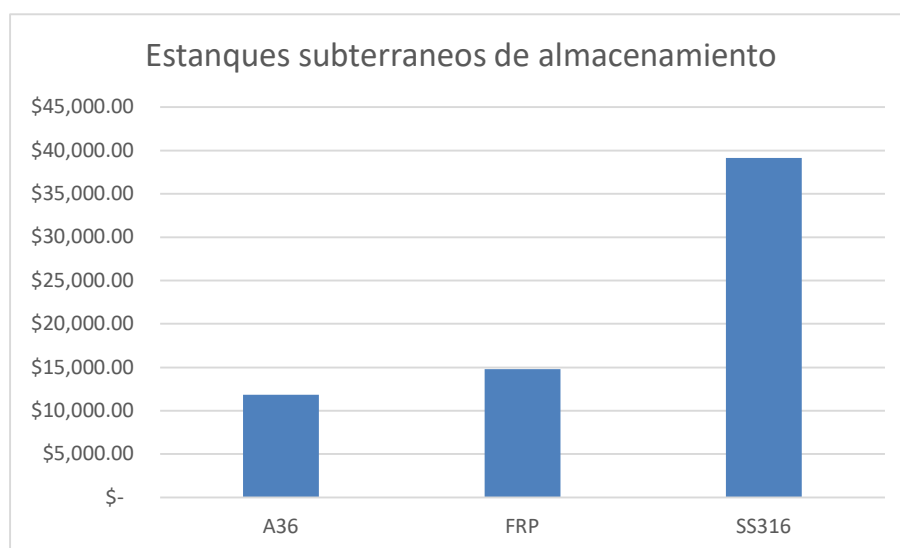


Figura 43. Comparación de tanques en FRP con otros materiales

Después de obtener el costo comparativo de fabricación de los tanques en FRP y ACERO se muestra una tabla que muestra las ventajas de usar cualquiera de los dos equipos. Ver tabla 28:

Tabla 28: Comparación de un tanque en FRP frente a uno de ACERO.

Característica	Tanque en FRP	Tanque en Acero
Costo competitivo	Más económico que aleaciones de acero inoxidable.	Más económico que los equipos en FRP.
Resistencia a la Corrosión	Excelente Resistencia a la corrosión debido al hecho de estar conformado por un material compuesto a base de polímeros anticorrosivos y fibras de vidrio, por lo tanto no es necesario pintarlos o recuperarlos	Baja resistencia al oxido y a la corrosión
Mantenimiento	Los tanques de FRP tienen un mantenimiento mínimo a largo plazo con pocos trabajos de reparación.	Debido a su vulnerabilidad a la corrosión, requiere revestimientos externos e internos lo cual aumento el costo y mantenimientos a corto plazo
Bajo Peso	1/6 del peso del acero	6 veces más que el peso de un tanque de FRP
Instalación	Su peso liviano reduce el costo de instalación y la facilidad de instalar en sitios de difícil acceso	El acero debido a su peso eleva el costo de instalación y limita la instalación en sitio de difícil acceso
Configuraciones	Debido a sus métodos de fabricación son moldeadas con formas irregulares y complejas.	Las presentaciones del acero son en perfiles y planchas, lo mismo que dificulta su construcción a solicitudes de equipos a medida.

6.6. Transporte e instalación

En la evaluación económica no se consideró el costo de transporte e instalación del equipo ya que este no es la finalidad de la investigación; así mismo es importante precisar que el costo de transporte es variable pues va depender del lugar de instalación. Las estaciones de servicio están presentes en todos los departamentos del territorio Peruano.

CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar un tanque subterráneo de 6000 galones de plástico reforzado con fibra de vidrio para almacenamiento de hidrocarburos líquidos bajo el uso de normas de diseño como son, ASME RTP-1, AWWA M45 y UL 1316. Y con el cumplimiento de los parámetros exigidos por Osinergmin bajo los decretos supremos N°064-2009-EM y 054-1993-EM y sus respectivas modificatorias.
2. Se establecieron los parámetros y condiciones diseño para así obtener las cargas de diseño externas así como también las presiones de prueba e hidrostática y los requisitos para la instalación
3. Se especificaron sus propiedades mecánicas y físicas del tanque y en base a ello se calcularon los espesores de pared del cilindro, tapas y anillos de refuerzo, asimismo se determinaron las dimensiones del tanque horizontal con tapas toriesferica, con un diámetro interior de 2.20 m y una longitud total de 6.35 m para almacenar la capacidad total de 6000 galones.
4. Se comprobaron los resultados obtenidos por solución analítica con el uso de software por elementos finitos, verificando así que el diseño cumple con sus factores de seguridad mínimo exigido por las normas de diseño de; 5 para cargas eventuales y 10 para cargas permanentes

5. Se presupuestó el tanque para tener noción del costo de diseño y fabricación del mismo, lo cual nos sirvió para hacer una comparación en costo frente a equipos similares, fabricados con acero al carbono y acero inoxidable. (Ver anexo 9).
6. Con el diseño del tanque desarrollado se elaboraron los planos de ingeniería básica y de detalle los cuales sirven para la fabricación del equipo. (Ver anexo 1 y 2).

RECOMENDACIONES

1. Es importante estimar correctamente las propiedades mecánicas de los laminados, al tratarse de un material compuesto las propiedades varían según el tipo de fibra, tipo de resina y espesor de pared. Una mala estimación de las propiedades puede incurrir al sobredimensionamiento o por otro lado que el equipo falle.
2. La verificación de la resina y selección de barrera química siempre dependerá de la experiencia del fabricante, son ellos quienes realizan pruebas de laboratorio para cada producto químico usado en la industria y formulan un compuesto adecuado para cada contenido a almacenar.
3. Para la construcción e instalación de estos equipos es recomendable contar con personal capacitado y con amplia experiencia en el rubro de los plásticos reforzados con fibra de vidrio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Osinergmin, Decreto Supremo N° 064-2009-EM: Inspección periódica de Hermeticidad de Tanques y Tuberías enterrados que almacenan Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos, Lima: Diario oficial, 2009.
- [2] A. RTP-1, Reinforced Thermoset Plastic Corrosion - Resistant Equipment, The American Society Of Mechanical Engineers, 2015.
- [3] AOC, Guía para la fabricación de compuestos en FRP, USA: AOC, 2012.
- [4] Manual of Water Supply Practices M45, Third Edition, Fiberglass Pipe Design, United States of America: American Water Works Association, 2014.
- [5] Osinergmin, Decreto Supremo N° 054-1993-EM: Reglamento de Seguridad para Establecimientos de Venta al Público de Combustibles Derivados de Hidrocarburos, Lima: Diario Oficial, 1993.
- [6] U. 1316, Standard for safety for Glass-Fiber-Reinforced Plastic Underground Storage Tanks for Petroleum Products, Alcohol, and Alcohols-Gasoline Mixtures, Underwrites Laboratories Inc., 2006.
- [7] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, «Portal Interactivo de Fiscalización Ambiental,» [En línea]. Available: <https://publico.oefa.gob.pe/Portalpifa/Intervenciones.do>. [Último acceso: 15 Agosto 2020].
- [8] Ministerio del Ambiente, «097 -2012-DFSAI/PAS,» Ministerio del Ambiente, Lima, 2014.

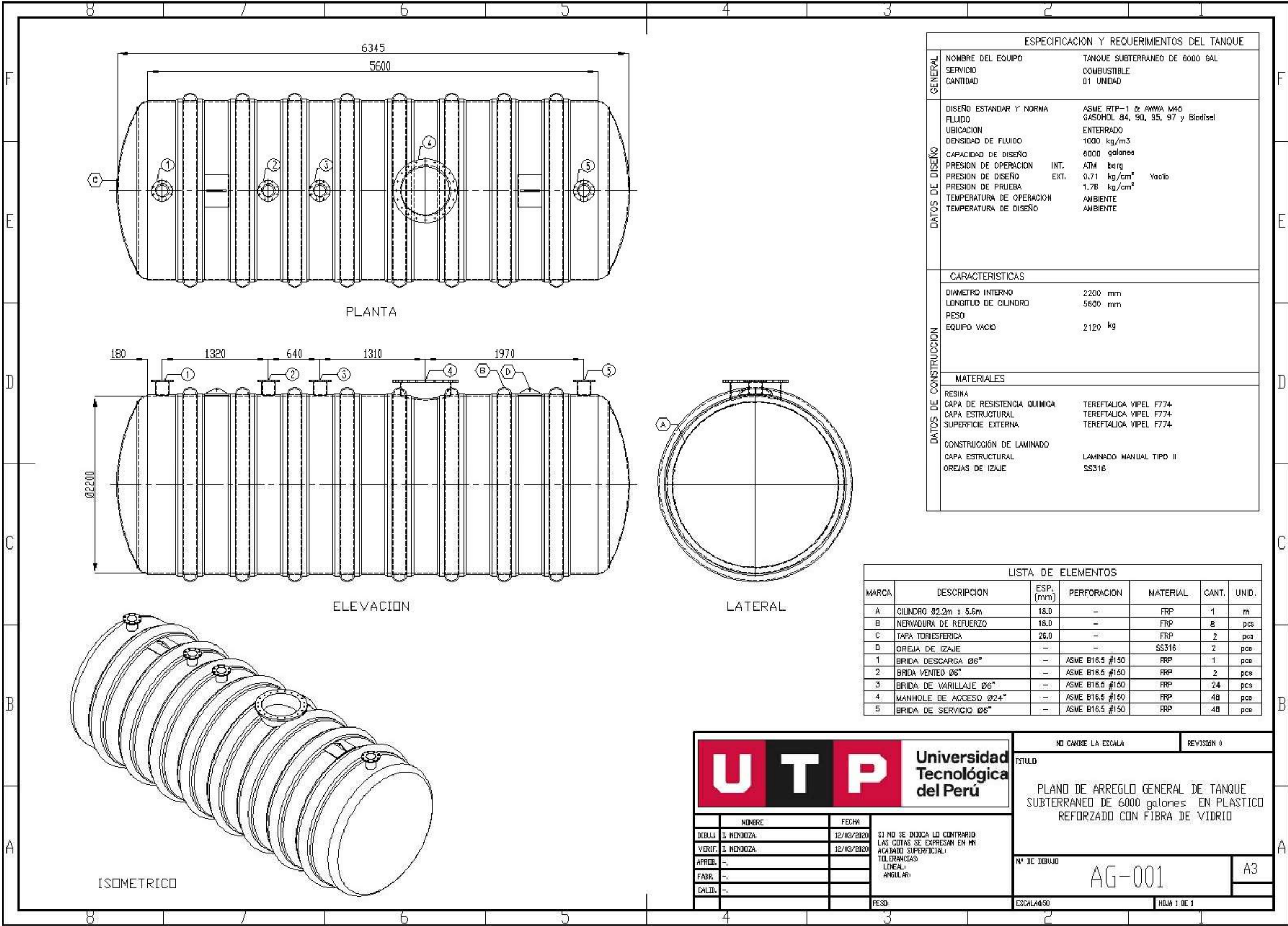
- [9] A. Carvalho, Fiberglass x corrosao : especificação, instalação e manutenção de equipamentos de fiberglass para ambientes agressivos, Editora Asplar, 1992.
- [10] Osinergmin, «Búsqueda de Registro de Hidrocarburos,» [En línea]. Available: <http://srvtest03.osinerg.gob.pe:23314/msfh5/busquedaRegistroHidrocarburos/init.action>. [Último acceso: 13 Agosto 2020].
- [11] Osinergmin, Decreto Supremo N° 052-93-EM: Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos, Lima: Diario oficial , 1993.
- [12] R. Morocco Huayta, Diseño de tanques de plástico reforzados con fibra de vidrio para almacenamiento de agua para la industria y la construcción, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2016.
- [13] J. E. Chavez Miranda, Calculo de soldadura para unión de tuberías de plástico reforzado con fibra de vidrio en contacto con ácido sulfúrico, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2015.
- [14] C. O. Ugarte Argomedo, Caracterizacion de una matriz de poliéster isfotalica reforzada con fibras de vidrio simétrica como componentes estructurales, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería , 2014.
- [15] C. J. Hinostroza Aquino, Diseño y fabricacion de un tanque de 300m3 de plastico reforzado con fibra de vidrio para almacenamiento de agua bajo la norma ASME RTP-1 2005, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2013.
- [16] J. Quincho Herrera, Diagnostico de antigüedad para evaluar la renovacion del parque de tanques enterrados en eess de la provincia de Lima, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2013.
- [17] A. E. Villamarín Baron, Software para diseño estructural de tanques rectangulares enterrados de concreto usando como base la Nsr-10, la norma Aci-350 06 y las tablas de diseño de muros de la Pca, Universidad Distrital Francisco José Caldas, Facultad de Tecnología, 2018.
- [18] A. G. Chaves Sánchez, Análisis comparativo entre tanques de concreto, mampostería y plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), para agua potable, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, 2016.
- [19] D. E. Flórez Trujillo y J. A. Hernández Vásquez, Sistematización del análisis y diseño estructural de tanques enterrados siguiendo la normativa NSR-10 y ACI 350R-95, Universidad La gran Colombia, Facultad de Ingeniería Civil, 2014.
- [20] H. W. Suarez Guerrero, Análisis y diseño de tanques y tuberías enterradas bajo cargas sísmicas, Pontificia Universidad católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, 2014.

- [21] P. S. Arévalo Pulla y R. I. Barahona Barahona, Diseño comparativo de tanques para el almacenamiento de agua de hormigón armado, enterrados hasta el nivel de la tapa, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, 2013.
- [22] P. Ordaya Miranda, «Supervisión operativa en grifos y estaciones de servicios,» Osinergmin, 2011.
- [23] ZCL Composites Inc., «Fiberglass underground storage tanks,» ZCL Composites Inc., Edmonton, 2017.
- [24] A. A. Ureña, «A comparision between four different design codes for FRP vessels,» Materials Technology Institute, Inc., 2015.
- [25] Derakane, Fabricating tips, Ashland, 2005.
- [26] Reichhold, Inc, FRP Material Selection Guide, Copyright© Reichhold, Inc, 2009.
- [27] G. N. Ing. Gonzáles, Manual introductorio al poliéster reforzado con nfibras de vidrio, 2003.
- [28] Solutions, Containment, Tanque de almacenamiento de fibra de vidrio, Texas: Solutions, Containment, 2015.
- [29] Petroperú, «Petroperú,» [En línea]. Available: <https://www.petroperu.com.pe/productos/combustibles/>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [30] Fibratore, Manual de procemientos para la instalacion, inspeccion y manoe de tanques enterrados doble pared, Medellín: Fibratore.
- [31] Ministerio de Energía y Minas del Perú, Guia para la Protección Ambiental en Estaciones de Servicio y Plantas de Venta, Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2019.
- [32] Senace Perú, Impactos Ambientales, Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles, 2017.
- [33] Dassault Systemes, Introduction to simulation, Dassault Systemes, 2019.
- [34] Dassault Systèmes SE, «Solidworks Student,» 2019.
- [35] R. Hernández Samprieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación, Mc Graw Hill (Sexta Edición).
- [36] R. Hernández Sampieri, Metodología de la investigación, Mc Graw Hill (Quinta Edición), 2010.

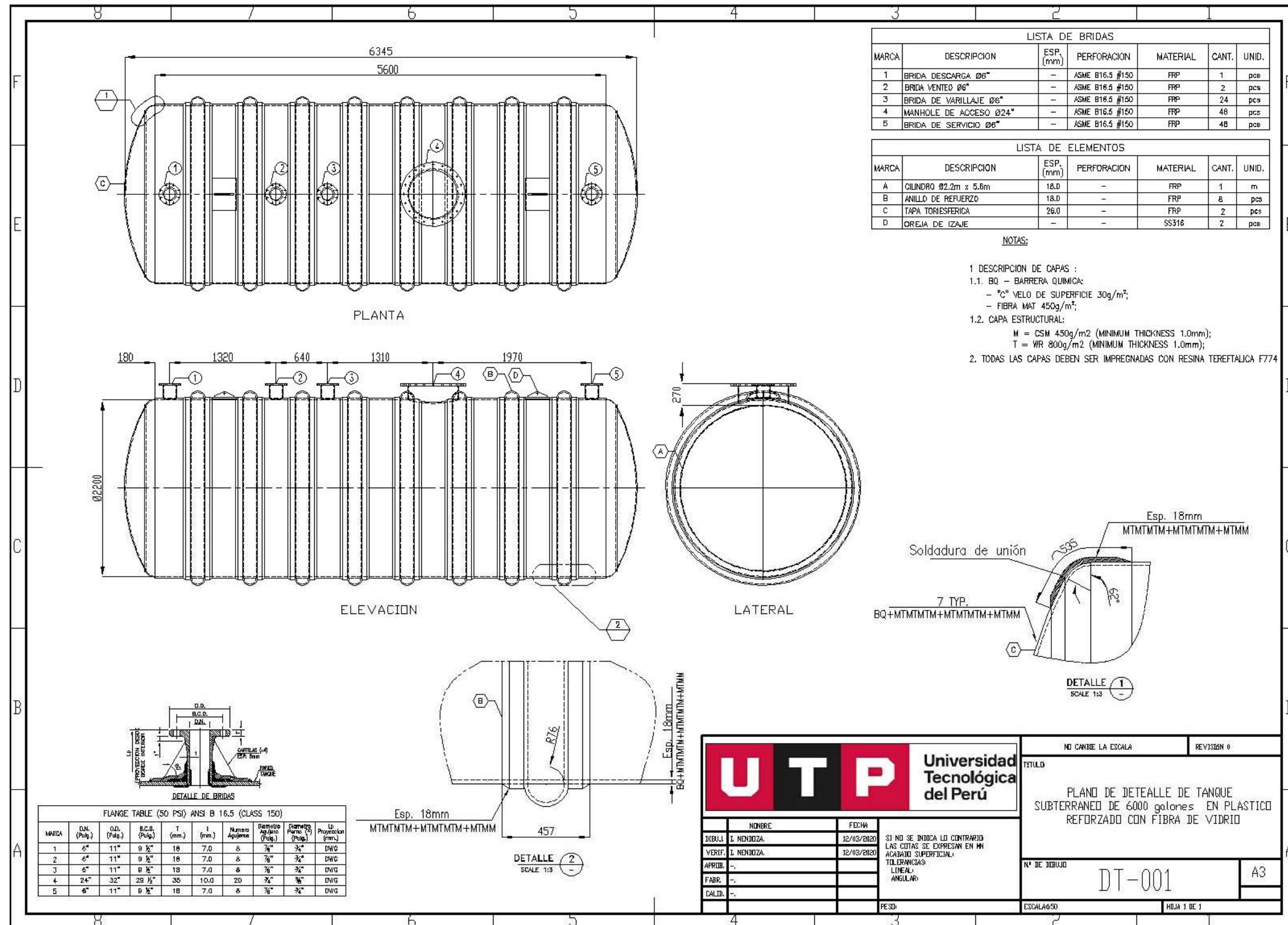
- [37] B. Ferdinand, J. E. Russell, D. John y M. David, *Mecánica de materiales*, Mexico: The McGraw-Hill, 2010.
- [38] C. A. Barrios Reategui, *Diseño de tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos e impacto ambiental*, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería de Petróleo y Petroquímica, 2002.
- [39] G. E. Pejerrey Zegarra, *Diseño y Cálculo de un Tanque de Almacenamiento Atmosférico de 60,000 Barriles para Almacenaje de Gasolina de 90 Octanos en la Selva*, Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería Industrial y Mecánica, 2017.
- [40] A. D4097-18, *Standard Specification for Contact-Molded Glass-Fiber-Reinforced Thermoset Resin Corrosion-Resistant Tanks*, ASTM International, West Conshohocken, 2001.
- [41] A. D3299-00, *Standard Specification for Filament-Wound Glass-Fiber-Reinforced Thermoset Resin Corrosion-Resistant Tanks*, ASTM International, West Conshohocken, 2000.
- [42] A. B16.5-2009, *Pipe Flanges and Flanged Fittings*, American Society of Mechanical Engineers, 2009.
- [43] D. E. Vinilester, *Chemical resistance guide*, U.S.A.: ASHLAND, 2005.
- [44] P. Gurmendi Párraga, *Manual para la estructuración de la tesis universitaria*, Universidad Continental, Grados y títulos , 2015.

ANEXOS

Anexo 1. Plano de arreglo general de tanque



Anexo 2. Plano de detalle de tanque



Anexo 3. Registro de hidrocarburos en la estaciones de servicio en las provincia de Lima

Distrito	Capacidad de tanque	Numero de tanques
ANCON	6500 gal	1
ANCON	5000 gal	2
ANCON	3000 gal	2
ANCON	2500 gal	1
ATE	10000 gal	18
ATE	9000 gal	2
ATE	8000 gal	10
ATE	7000 gal	3
ATE	6500 gal	1
ATE	6000 gal	21
ATE	5000 gal	20
ATE	4000 gal	12
ATE	3000 gal	26
ATE	2500 gal	10
ATE	2000 gal	15
ATE	1000 gal	11
BARRANCO	10000 gal	1
BARRANCO	8000 gal	5
BARRANCO	5000 gal	3
BARRANCO	4000 gal	5
BARRANCO	3000 gal	3
BARRANCO	2500 gal	1
BARRANCO	2000 gal	1
BREÑA	10000 gal	1
BREÑA	8000 gal	5
BREÑA	5000 gal	3
BREÑA	4000 gal	5
BREÑA	3000 gal	3
BREÑA	2500 gal	1
BREÑA	2000 gal	1
CARABAYLLO	12000 gal	1
CARABAYLLO	9000 gal	1
CARABAYLLO	8000 gal	2
CARABAYLLO	7000 gal	4
CARABAYLLO	6500 gal	2
CARABAYLLO	6000 gal	12
CARABAYLLO	5000 gal	5
CARABAYLLO	4000 gal	13
CARABAYLLO	3000 gal	15
CARABAYLLO	2500 gal	4
CARABAYLLO	2000 gal	24
CARABAYLLO	1000 gal	8

CLACLACAYO	10000 gal	1
CLACLACAYO	9000 gal	2
CLACLACAYO	8000 gal	4
CLACLACAYO	6000 gal	4
CLACLACAYO	5000 gal	1
CLACLACAYO	4000 gal	1
CLACLACAYO	3000 gal	3
CLACLACAYO	2000 gal	2
CHORRILLOS	8000 gal	18
CHORRILLOS	6000 gal	6
CHORRILLOS	5000 gal	5
CHORRILLOS	4000 gal	7
CHORRILLOS	3000 gal	1
CHORRILLOS	1000 gal	1
CIENEGUILLA	6000 gal	1
CIENEGUILLA	4000 gal	3
CIENEGUILLA	3000 gal	4
COMAS	9000 gal	1
COMAS	8000 gal	3
COMAS	7000 gal	2
COMAS	6500 gal	1
COMAS	6000 gal	12
COMAS	5000 gal	10
COMAS	4000 gal	14
COMAS	3000 gal	4
COMAS	2500 gal	1
COMAS	2000 gal	14
EL AGUSTINO	6000 gal	2
EL AGUSTINO	2000 gal	6
EL AGUSTINO	1000 gal	6
INDEPENDENCIA	10000 gal	7
INDEPENDENCIA	8000 gal	8
INDEPENDENCIA	6000 gal	2
INDEPENDENCIA	5000 gal	2
INDEPENDENCIA	4000 gal	5
INDEPENDENCIA	3000 gal	7
INDEPENDENCIA	2000 gal	1
JESUS MARIA	10000 gal	1
JESUS MARIA	8000 gal	1
JESUS MARIA	7000 gal	2
JESUS MARIA	6000 gal	3
JESUS MARIA	5000 gal	4
JESUS MARIA	4000 gal	4
JESUS MARIA	3000 gal	8
LA MOLINA	8000 gal	6
LA MOLINA	6000 gal	25

LA MOLINA	1000 gal	4
LA VICTORIA	15000 gal	1
LA VICTORIA	10000 gal	8
LA VICTORIA	8000 gal	14
LA VICTORIA	6000 gal	7
LA VICTORIA	5000 gal	7
LA VICTORIA	4000 gal	13
LA VICTORIA	3000 gal	1
LA VICTORIA	2000 gal	3
LIMA	10000 gal	4
LIMA	8000 gal	17
LIMA	6000 gal	4
LIMA	5000 gal	6
LIMA	4000 gal	3
LIMA	3000 gal	1
LINCE	8000 gal	9
LINCE	4000 gal	2
LOS OLIVOS	10000 gal	3
LOS OLIVOS	8000 gal	9
LOS OLIVOS	6000 gal	7
LOS OLIVOS	4000 gal	5
LOS OLIVOS	3000 gal	5
LOS OLIVOS	2000 gal	5
LOS OLIVOS	1000 gal	3
LURIGANCHO	8000 gal	7
LURIGANCHO	6000 gal	8
LURIGANCHO	5000 gal	1
LURIGANCHO	4000 gal	3
LURIGANCHO	3000 gal	4
LURIGANCHO	2000 gal	4
LURIN	6000 gal	1
LURIN	5000 gal	1
LURIN	4000 gal	7
LURIN	3000 gal	3
LURIN	2500 gal	1
LURIN	2000 gal	3
MAGDALENA DEL MAR	8000 gal	2
MIRAFLORES	12000 gal	2
MIRAFLORES	11000 gal	1
MIRAFLORES	10000 gal	7
MIRAFLORES	8000 gal	26
MIRAFLORES	6000 gal	9
MIRAFLORES	5000 gal	12
MIRAFLORES	4000 gal	13
MIRAFLORES	3000 gal	12
MIRAFLORES	2000 gal	1

PACHACAMAC	15000 gal	1
PACHACAMAC	8000 gal	9
PACHACAMAC	6000 gal	6
PACHACAMAC	4000 gal	3
PACHACAMAC	3000 gal	4
PACHACAMAC	2000 gal	1
PUCUSANA	6000 gal	3
PUCUSANA	5000 gal	1
PUCUSANA	4000 gal	5
PUCUSANA	3000 gal	2
PUCUSANA	2000 gal	2
PUEBLO LIBRE	10000 gal	1
PUEBLO LIBRE	8000 gal	6
PUEBLO LIBRE	6000 gal	3
PUEBLO LIBRE	5000 gal	3
PUENTE PIEDRA	8000 gal	1
PUENTE PIEDRA	6500 gal	3
PUENTE PIEDRA	6000 gal	20
PUENTE PIEDRA	5000 gal	2
PUENTE PIEDRA	4000 gal	5
PUENTE PIEDRA	3000 gal	4
PUENTE PIEDRA	2500 gal	1
PUENTE PIEDRA	2000 gal	12
PUENTE PIEDRA	1000 gal	3
PUNTA NEGRA	8000 gal	1
PUNTA NEGRA	4000 gal	1
PUNTA NEGRA	3000 gal	1
PUNTA NEGRA	2500 gal	1
RIMAC	8000 gal	3
RIMAC	6000 gal	4
RIMAC	5000 gal	3
RIMAC	4000 gal	4
RIMAC	3000 gal	1
SAN BORJA	12000 gal	2
SAN BORJA	8000 gal	8
SAN BORJA	5000 gal	8
SAN BORJA	4000 gal	6
SAN BORJA	3000 gal	2
SAN BORJA	2000 gal	1
SAN ISIDRO	14000 gal	1
SAN ISIDRO	12000 gal	2
SAN ISIDRO	10000 gal	8
SAN ISIDRO	8000 gal	20
SAN ISIDRO	6000 gal	10
SAN ISIDRO	5000 gal	4
SAN ISIDRO	4000 gal	7

SAN ISIDRO	3000 gal	1
SAN ISIDRO	2000 gal	1
SAN JUAN DE LURIGANCHO	12000 gal	1
SAN JUAN DE LURIGANCHO	9000 gal	8
SAN JUAN DE LURIGANCHO	8000 gal	7
SAN JUAN DE LURIGANCHO	7000 gal	3
SAN JUAN DE LURIGANCHO	6500 gal	1
SAN JUAN DE LURIGANCHO	6000 gal	10
SAN JUAN DE LURIGANCHO	5000 gal	2
SAN JUAN DE LURIGANCHO	4000 gal	8
SAN JUAN DE LURIGANCHO	3000 gal	3
SAN JUAN DE LURIGANCHO	2500 gal	2
SAN JUAN DE LURIGANCHO	2000 gal	10
SAN JUAN DE LURIGANCHO	1000 gal	4
SAN JUAN DE MIRAFLORES	11000 gal	1
SAN JUAN DE MIRAFLORES	8000 gal	3
SAN JUAN DE MIRAFLORES	6000 gal	9
SAN JUAN DE MIRAFLORES	5000 gal	6
SAN JUAN DE MIRAFLORES	4000 gal	6
SAN JUAN DE MIRAFLORES	3000 gal	5
SAN JUAN DE MIRAFLORES	2500 gal	4
SAN JUAN DE MIRAFLORES	2000 gal	3
SAN JUAN DE MIRAFLORES	1000 gal	3
SAN LUIS	8000 gal	2
SAN LUIS	6000 gal	3
SAN LUIS	4000 gal	3
SAN LUIS	3000 gal	2
SAN MARTIN DE PORRES	8000 gal	15
SAN MARTIN DE PORRES	7000 gal	1
SAN MARTIN DE PORRES	6500 gal	2
SAN MARTIN DE PORRES	6000 gal	7
SAN MARTIN DE PORRES	5000 gal	3
SAN MARTIN DE PORRES	4000 gal	9
SAN MARTIN DE PORRES	3000 gal	5
SAN MARTIN DE PORRES	2500 gal	1
SAN MARTIN DE PORRES	2000 gal	6
SAN MARTIN DE PORRES	1000 gal	5
SAN MIGUEL	8000 gal	9
SAN MIGUEL	6000 gal	4
SAN MIGUEL	4000 gal	3
SANTA ANITA	8000 gal	5
SANTA ANITA	6000 gal	2
SANTA ANITA	4000 gal	9
SANTA ANITA	3000 gal	2
SANTA ANITA	2500 gal	2
SANTA ANITA	2000 gal	2

SANTA ANITA	1000 gal	1
SANTA MARIA DEL MAR	3000 gal	2
SANTA MARIA DEL MAR	2000 gal	2
SANTIAGO DE SURCO	10000 gal	3
SANTIAGO DE SURCO	8000 gal	14
SANTIAGO DE SURCO	6000 gal	22
SANTIAGO DE SURCO	5000 gal	2
SANTIAGO DE SURCO	4000 gal	6
SANTIAGO DE SURCO	2500 gal	1
SURQUILLO	10000 gal	2
SURQUILLO	8000 gal	4
SURQUILLO	6000 gal	3
SURQUILLO	5000 gal	7
SURQUILLO	4000 gal	1
SURQUILLO	3000 gal	3
SURQUILLO	2000 gal	1
VILLA EL SALVADOR	11000 gal	1
VILLA EL SALVADOR	8000 gal	14
VILLA EL SALVADOR	6500 gal	6
VILLA EL SALVADOR	6000 gal	4
VILLA EL SALVADOR	5000 gal	2
VILLA EL SALVADOR	4000 gal	5
VILLA EL SALVADOR	3000 gal	4
VILLA EL SALVADOR	1000 gal	3
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	9000 gal	4
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	8000 gal	6
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	6500 gal	3
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	6000 gal	7
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	5000 gal	4
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	4000 gal	7
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	3000 gal	7
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	2500 gal	2
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	2000 gal	11
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	1000 gal	6

Anexo 4. Tabla de propiedades mecánicas ASME RTP1-2015

ASME RTP-1-2015

Table 2A-3 Minimum Values of Flat Laminates

Nominal Thickness, in.	Type	Ultimate Tensile Strength, psi [Note (1)]	Tensile Modulus, psi [Note (1)]	Ultimate Flexural Strength, psi [Note (2)]	Flexural Modulus, psi [Note (2)]
All	I	9.0×10^3	1.00×10^6	16.0×10^3	0.70×10^6
0.22	II	12.0×10^3	1.30×10^6	19.0×10^3	0.80×10^6
0.29	II	13.5×10^3	1.40×10^6	20.0×10^3	0.90×10^6
0.37 and above	II	15.0×10^3	1.50×10^6	22.0×10^3	1.00×10^6

GENERAL NOTE: The tabulated values remain unchanged up to 180°F. Above that temperature, measured properties may decrease.

NOTES:

(1) ASTM D638 at 73°F, ASTM D3039 at 77°F, or ASTM D5083 at 73°F.

(2) ASTM D790 at 73°F.

Anexo 5. Composición de laminado estándar tipo II ASME RTP1-2015

Table 2A-2 Standard Laminate Composition Type II

Nominal Thickness, in. [Notes (1), (2)]	Sequence of Plies																				Drafting Symbols
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
0.22	V	M	M	M	R	M	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	V,2M,MRM
0.29	V	M	M	M	R	M	R	M	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	V,2M,2(MR)M
0.37	V	M	M	M	R	M	R	M	R	M	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	V,2M,3(MR)M
0.41	V	M	M	M	R	M	R	M	R	M	M	...	...	...	...	...	...	...	...	...	V,2M,3(MR)M,M
0.49	V	M	M	M	R	M	R	M	R	M	M	R	M	...	...	...	...	...	...	...	V,2M,3(MR)M,MRM
0.56	V	M	M	M	R	M	R	M	R	M	M	R	M	R	M	...	...	...	...	...	V,2M,3(MR)M,2(MR)M
0.64	V	M	M	M	R	M	R	M	R	M	M	R	M	R	M	R	M	...	...	...	V,2M,3(MR)M,3(MR)M
0.68	V	M	M	M	R	M	R	M	R	M	M	R	M	R	M	R	M	M	...	...	V,2M,3(MR)M,3(MR)M,M
0.76	V	M	M	M	R	M	R	M	R	M	M	R	M	R	M	R	M	M	R	M	V,2M,3(MR)M,3(MR)M,MRM

GENERAL NOTES:

- Thicknesses above 0.76 in. nominal can be used following pattern established for 0.76 in. thick laminate.
- Actual thickness and glass content of each sequence of plies shall be established by each Fabricator based on his or her design basis laminate.
- Corrosion barrier (plies 1, 2, and 3) shall gel and exotherm before structural plies are added.
- Structural lay-up may be interrupted long enough to exotherm between adjacent "MM" plies. If required by fabrication procedure, location of exotherm plies may be changed by shifting plies 10 and 17 within the laminate body or by splitting an "M" ply into weight-equivalent layer(s).
- A weight equivalent layer or layers of chopped strand glass or mat may be used in place of layers of 1.5 oz mat.

NOTES:

- Nominal thickness is calculated as follows:
 $V = 10 \text{ mil surface mat (veil)} - 0.010 \text{ in./ply}$
 $M = 1\frac{1}{2} \text{ oz/ft}^2 \text{ mat} - 0.043 \text{ in./ply}$
 $R = 24 \text{ oz/yd}^2 \text{ woven roving} - 0.033 \text{ in./ply}$
- This information is based on historical data and may not reflect all laminates made today. Laminates made today are often thinner and have a higher glass content than noted in the Table. The Table should be used for establishing minimum glass plies per nominal laminate thickness. Ply thicknesses should be based on design basis laminates.

Buried Pipe Design

5.1 INTRODUCTION

The structural design procedure for buried fiberglass pipe involves establishing design conditions, selecting pipe classes and corresponding pipe properties, selecting installation parameters, and performing pertinent calculations to ensure that the design requirements of Sec. 5.7 are satisfied. If the results of any calculation indicate that a requirement is not satisfied, it will be necessary to upgrade installation parameters or select a pipe with different properties, or both, and redo pertinent calculations. Special information and calculations not covered in this chapter may be required in unusual cases (see Sec. 5.9).

Both rigorous and empirical methods are used in the design of fiberglass pipe. In addition to short-term tests, many performance limits are determined at 50 years through statistical extrapolation of data obtained from long-term tests under simulated service conditions. Design stress or strain values are obtained by reducing performance limits using appropriate design factors. Design factors are established to ensure adequate performance over the intended service life of the pipe by providing for variations in material properties and loads not anticipated by design calculations. Design factors are based on judgment, past experience, and sound engineering principles.

The design method discussed in this chapter applies in concept to pipe with uniform walls and to pipe with ribbed-wall cross sections. However, for design of pipe with ribbed walls, some of the equations must be modified to allow for the special properties of this pipe. Also, additional calculations not addressed in this chapter may be required to ensure an adequate design for a ribbed-wall cross section. The equations are presented with inch-pound units in the left column and metric units in the right column.

Anexo 7. Introducción estándar de seguridad UL 1316

MAY 12, 2006

UL 1316

5

INTRODUCTION

1 Scope

1.1 These requirements cover spherical or horizontal cylindrical, atmospheric-type tanks of glass-fiber-reinforced plastic (FRP) that are intended for the underground storage of petroleum-based flammable and combustible liquids, alcohols, and alcohol-blended fuels.

1.2 These requirements cover tanks of either single- or double-wall construction. A double-wall tank is a tank within a tank, capable of being provided with means to detect a leak in either tank.

1.3 These tanks are completely assembled and tested for leakage before shipment.

1.4 These tanks are intended for installation and use in accordance with the Standard for the Installation of Oil-Burning Equipment, NFPA 31, the Flammable and Combustible Liquids Code, NFPA 30, and the manufacturer's instructions.

1.5 These requirements do not cover optional accessories for these tanks, such as heating coils or hotwells; nor do they cover compartmented tanks.

1.6 A product that contains features, characteristics, components, materials, or systems new or different from those covered by the requirements in this standard, and that involves a risk of fire, electric shock, or injury to persons shall be evaluated using the appropriate additional component and end-product requirements as determined necessary to maintain the acceptable level of safety as originally anticipated by the intent of this standard. A product whose features, characteristics, components, materials, or systems conflict with specific requirements or provisions of this standard cannot be judged to comply with this standard. Where considered appropriate, revision of requirements shall be proposed and adopted in conformance with the methods employed for development, revision, and implementation of this standard.

1.6 revised April 2, 1996

2 General

2.1 Units of measurement

2.1.1 When a value for measurement is followed by a value in other units in parentheses, the second unit is only approximate. The first stated value is the requirement.

2.1.1 revised April 2, 1996

Industrias Fibranik || Purchased On : 5/25/2011 3:13:54 PM || Order Number : 110525108 || Document : 1 of 1 || ALL RIGHTS RESERVED

UL COPYRIGHTED MATERIAL –
NOT AUTHORIZED FOR FURTHER REPRODUCTION OR
DISTRIBUTION WITHOUT PERMISSION FROM UL

Anexo 8. Ficha técnica resina AOC F774



Vipel® F774 Series Polyester Resin

PRODUCT INFORMATION

Corrosion High-Cross Linked Terephthalic Polyester Resin



TYPICAL CAST MECHANICAL PROPERTIES (2) SEE BACK PAGE

Test	Units of Measure	Nominal	Test Method
Tensile Strength	psi/MPa	11,700/80	ASTM D 638
Tensile Modulus	psi/GPa	560,000/4.0	ASTM D 638
Tensile Elongation	%	2.7	ASTM D 638
Flexural Strength	psi/MPa	17,300/114	ASTM D 790
Flexural Modulus	psi/GPa	560,000/4.0	ASTM D 790
Heat Distortion Temp.	°F/°C	295/146	ASTM D 648
Barcol Hardness		46	ASTM D 2583

*Typical properties are not to be construed as specifications.

TYPICAL LIQUID RESIN PROPERTIES* (1) SEE BACK PAGE

Versions	Viscosity cps	Thix Index	Gel Time minutes	Gel to Peak Minutes	Peak Exotherm °F/°C	HAP Content %
F774-APT-20	600 ⁶	2 ⁷	20 ⁸	10	395/200	42
F774-BBG-00	400 ⁴	NA	20 ⁵	12	400/205	42
F774-NNA-30	130 ⁴	NA	30 ⁵	10	428/220	47
F774-PTA-25	700 ⁵	2 ⁷	25 ³	11	428/220	45
F774-PTA-30	700 ⁵	2 ⁷	30 ³	11	428/220	45
F774-PTW-30	700 ⁵	2 ⁷	30 ³	11	428/220	45

NA- Not applicable

HAP- Hazardous Air Pollutant

1) 77°F/25°C Brookfield RVT viscosity spindle 2 at 20 rpm

2) 2/20 rpm Thix Index

3) 77°F/25°C Gel time with 1.0% MEKP (100 gram mass)

4) 77°F/25°C Brookfield RVT viscosity spindle 2 at 30 rpm

5) 77°F/25°C Gel time with 0.25% Cobalt 0% and 1.5% MEKP

6) 77°F/25°C Brookfield LV viscosity #3 @ 60rpm

7) 6/60 rpm Thix Index

8) 77°F/25°C Gel time with 1.5% MEKP

*Typical properties are not to be construed as specifications.

DESCRIPTION

Vipel® F774 Series is a high cross-linked terephthalic polyester resin. Vipel F774 series resin are recognized by underwriters laboratories for meeting the requirements of UL 1316 and UL 1746 Part II and Part III.

Vipel® F774 series resin were developed to meet the demanding requirements of underground petroleum storage tanks that contain oxygenated fuels.

BENEFITS

UL Recognition

AOC's Vipel F774 Series resins are recognized by UL for meeting the requirements of UL 1316 and UL 1746 Part II and Part III.

Corrosion Resistance

Vipel F774 Series resins provide excellent corrosion resistance when used in contact with inorganic and organic acids. Solvent resistance is field-proven for many fuels including gasoline, kerosene, heating oil and crude oils. Refer to AOC's "Corrosion Resistant Resin Guide" for corrosion resistance information or for questions regarding suitability of a resin to any particular chemical environment contact AOC.

Versatile

Suitable for various fabricating methods such as hand lay-up, spray-up, filament winding, etc.

Vipel® F774 Series Resin

PERFORMANCE GUIDELINES

A. Keep full strength catalyst levels between 1.0% - 2.0% of the total resin weight.

B. Maintain shop temperatures between 65°F/18°C and 90°F/32°C and humidity between 40% and 90%. Consistent shop conditions contribute to consistent gel times and will help the fabricator make a high quality part.

C. Sanding and/or grinding is recommended if a secondary bond is applied to a laminate that was made with F774-PTW-30 or any resin containing wax.

STORAGE STABILITY

This product is stable for three months from the date of manufacture when stored in the original containers, away from direct sunlight or other UV light sources and at or below 25°C (77°F). Storage stability of two months or less should be anticipated if the storage temperature exceeds 30°C (86°F).

After extended storage, some drift may occur in the product viscosity and gel time.

SAFETY

See appropriate Material Safety Data Sheet for guidelines.

ISO 9001:2008 CERTIFIED

The Quality Management Systems at every AOC manufacturing facility have been certified as meeting ISO 9001:2008 standards. This certification recognizes that each AOC facility has an internationally accepted model in place for managing and assuring quality. We follow the practices set forth in this model to add value to the resins we make for our customers.

FOOTNOTES

1) The gel times shown are typical but may be affected by catalyst, promoter, inhibitor concentration, resin, mold, and shop temperature. Variations in gelling characteristics can be expected between different lots of catalysts and at extremely high humidities. Pigment and/or filler can retard or accelerate gelation. It is recommended that the fabricator check the gelling characteristics of a small quantity of resin under actual operating conditions prior to use.

(2) These tests are based on Vipet® F774 with 45% styrene at 77°F/25°C and 50% relative humidity. All tests performed on unreinforced cured resin castings. Thixotropic components, if applicable, are excluded from casting samples. Castings were prepared using 0.1% Cobalt 12%, 1.0% MEKP and cured for 5 hours at 212°F/100°C.

The information contained in this data sheet is based on laboratory data and field experience. We believe this information to be reliable, but do not guarantee its applicability to the user's process or assume any liability for occurrences arising out of its use. The user, by accepting the products described herein, agrees to be responsible for thoroughly testing each such product before committing to production.

Our recommendations should not be taken as inducements to infringe any patent or violate any law, safety code or insurance regulation. © 2014 AOC, LLC

NORTH AMERICA
Toll free: +1 866 319 8827
northamerica@aac-resins.com

LATIN AMERICA
+01 863 615 5016
latnamerica@aac-resins.com

MIDDLE EAST
+44 1206 390415
middleeast@aac-resins.com

EUROPE
+44 1206 390415
europe@aac-resins.com

AOC UK LTD.
+44 01206 390400
salesUK@aac-resins.com

INDIA
+44 1206 390415
india@aac-resins.com

ASIA/AUSTRALIA
+44 1206 390415
asia@aac-resins.com

Sub. No. AOC- F774 Series
Effective Date: May, 2014

AOC-RESINS.COM

AOC
World Leader in Resin Technology

Anexo 9. Cotización tanques enterrados en acero



RUC: 10477579600

MANTENIMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

De: Henry Huaman Vila

Sector 2, Grupo 23, Manzana O, Lote 14
Villa El Salvador - Lima

Señores:

Italo G. Mendoza Prieto

Estimados Señores:

Por medio de la presente lo saludamos y a la vez le hacemos llegar la siguiente Cotización para el suministro de tanque de combustible enterrado que se están requiriendo y me es grato describir nuestra mejor propuesta.

ITEM	Descripción	Valor total USD
1	Suministro de tanque enterrado para almacenamiento de combustible con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none">• Diámetro de Ø2.4 m X 5.1 m de longitud con capacidad de 6000 gal.• Material de fabricación planchas de acero al carbono A36 con un espesor de 8 mm.• 05 boquillas en tanque de Ø4" x 04 und y Ø20" x 01 und• Acabados con pintura epoxica exterior.	11,824.00
2	Suministro de tanque enterrado para almacenamiento de combustible con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none">• Diámetro de Ø2.4 m X 5.1 m de longitud con capacidad de 6000 gal.• Material de fabricación planchas de acero inoxidable ss316 con un espesor de 8 mm.• 05 boquillas en tanque de Ø4" x 04 und y Ø20" x 01 und	39,156.00
	Valor de venta (USD)	50,980.00

Los precios están expresados en dólares americanos, no se incluye el I.G.V. (18%)

CONDICIONES DE PAGO:

- 50% de adelanto al iniciar el Mantenimiento Junto con la orden de Compra y el 50% restante al finalizar y entrega de trabajo.

Cel: 992327194

E-mail: huvitec@gmail.com / vilatecnia@gmail.com



RUC: 10477579600

MANTENIMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

De: Henry Huaman Vila

Sector 2, Grupo 23, Manzana O, Lote 14
Villa El Salvador - Lima

PLAZO DE ENTREGA:

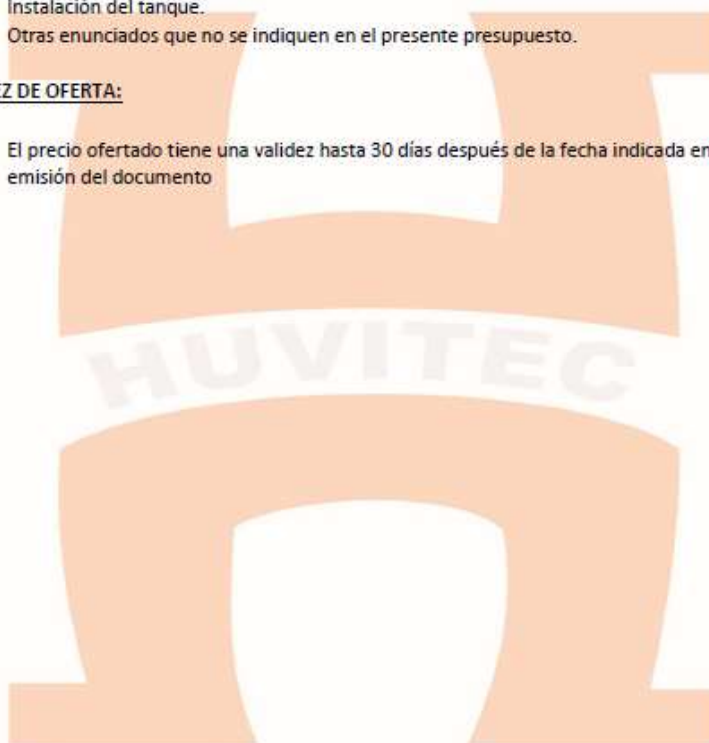
- 03 semanas

LA COTIZACION NO INCLUYE:

- Instalación del tanque.
- Otras enunciados que no se indiquen en el presente presupuesto.

VALIDEZ DE OFERTA:

- El precio ofertado tiene una validez hasta 30 días después de la fecha indicada en la emisión del documento



Cel: 992327194

E-mail: huvitec@gmail.com / vilatecnia@gmail.com

Anexo 10. Cotización de materias primas



Cotización No 200300025

Lima, 10 de marzo del 2020.

Ing. Italo Mendoza P.
Presente. -

Asunto: Cotización de Resina UL, Fibra de Vidrio y Aditivos

De nuestra mayor consideración:

Por medio del presente; reciban un cordial saludo y adjuntamos nuestra oferta por lo siguiente:

Producto	Presentación	Cantidad (Kg)	Precio Unit. USD	Observaciones
Resina VIPEL F774-BBG-00-D01	Cilindros x 220 Kg	1,320.00	5.00	Resina Tereftálica UL
Velo de Superficie de 30 gr/m ²	Cajas x 9 kg	9.00	15.00	Velo de Superficie
Fibra Mat 450 gr/m ²	Rollos x 50 Kg	450.00	2.50	Manta de vidrio
Fibra Bidireccional 600 gr/m ²	Rollos x 56 Kg	448.00	2.50	Tela de vidrio
Aditivos	Bidones x 35 kg	70.00	4.90	Co ² , Mek-p

* Los precios NO Incluyen el IGV (18%)

Forma de Pago : Contado.

Entrega : Inmediata.

Sin otro particular; me despido y quedo a la espera de su amable respuesta.

Muy atentamente;

Cecilia Castro

E-mail : cecilia.castro@quimapolperu.com

Tel : 511 480 0396 | Anexo: 102

Cel : +51 996 199 381

Jr. Castilla 806 – Int. 301 – Magdalena – Lima 17
Tel : 511 480 0396 | Anexo 101
Cel : +51 996 199 386

www.quimapolperu.com